

Seismic behavior of concrete shear wall with lap-spliced rebar and sleeve

Jalal Hasankhani ¹, Erfan Shafei ², Reza SojoudiZadeh ³, Seyed Jamil Ghaderi ³

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

Reinforced concrete shear walls have a wide range of applications as one of the main lateral load-bearing elements in the construction industry. Implementation constraints often require the use of longitudinal rebar lap-spliced. The presence of rebar lap-spliced allows for longitudinal rebar slippage in the connection zone, which, if it occurs, leads to a reduction in ductility and undesirable seismic performance of the wall. To further investigate this issue, after validating the numerical results with obtained previous laboratory experiments, the behavior of 24 wall models with different longitudinal rebar diameters, lap-spliced lengths, percentage of longitudinal rebar, and rebar debonding were studied numerically and using finite element analysis. The selected models, considering bond strength and slippage at the connection zone, were examined under gravity and cyclic lateral loading using numerical and finite element methods. By comparing the obtained results, including hysteretic curves, ductility, energy dissipation, rebar strain, and crack propagation, with walls using continuous rebar, it was demonstrated that the presence of lap-spliced in the wall causes rebar slippage in the connection zone. Additionally, in walls with 18mm and 20mm rebars diameter, ductility was reduced by approximately 2 times. The results indicated that the ductility of walls with lap-spliced can be increased by up to 50% using debonding methods.

ARTICLE INFO

Receive Date: 03 September 2023

Revise Date: 26 November 2023

Accept Date: 29 December 2023

Keywords:

reinforced concrete shear wall
seismic performance
over-lapping rebar
lap splice
sleeving rebar
bond-slip

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2023.381530.3031>

*Corresponding author: Erfan Shafei

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

رفتار لرزه‌ای دیوارهای برشی بتنی با میلگردهای دارای وصله و غلاف

جلال حسن خانی^۱، عرفان شافعی^{۲*}، رضا سجودی زاده^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

دیوارهای برشی بتنی به عنوان یکی از اعضای اصلی باربر جانبی در صنعت ساختمان کاربرد گسترده ای دارند. محدودیت‌های اجرایی باعث می‌شود دیوار عموماً با وصله پوششی اجرا گردد. وجود وصله پوششی امکان لغزش را برای میلگرد طولی در ناحیه اتصال فراهم می‌سازد که در صورت رخداد لغزش منجر به کاهش شکل پذیری و عملکرد لرزه‌ای نامطلوب دیوار می‌گردد. برای بررسی دقیق‌تر این موضوع پس از صحت سنجی نتایج عددی حاصله با نتایج آزمایشگاهی تحقیقات پیشین، رفتار ۲۴ مدل دیوار که به لحاظ قطر میلگرد طولی، طول وصله پوششی، درصد میلگرد عرضی و جداسازی میلگرد از بتن با یکدیگر متفاوت هستند به صورت عددی و المان محدود مورد مطالعه قرار گرفت. مدل‌های انتخابی با در نظر گرفتن مقاومت پیوند و لغزش در ناحیه اتصال با روش‌های تحلیلی عددی و المان محدود تحت بار ثقلی و بار جانبی چرخه‌ای استاتیکی مورد بررسی قرار گرفت. با مقایسه نتایج بدست آمده شامل منحنی‌های هیستریزس، شکل پذیری، استهلاک انرژی، کرنش میلگرد و گسترش ترک‌ها با دیوار با میلگرد یکپارچه نشان داد که در دیوارهای دارای وصله وجود وصله پوششی میلگرد طولی باعث لغزش میلگرد در ناحیه اتصال شده و در دیوارهای با میلگرد قطر ۱۸ و ۲۰ میلیمتر شکل پذیری در حدود ۲ برابر کاهش یافت. نتایج نشان داد شکل پذیری دیوارهای دارای وصله را می‌توان با استفاده از روش غلاف‌گذاری تا حد ۵۰٪ افزایش داد.

کلمات کلیدی: دیوار برشی بتنی - رفتار لرزه‌ای - وصله پوششی میلگرد طولی - غلاف - لغزش میلگرد

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2023.381530.3031	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2023.381530.3031	۱۴۰۳/۰۵/۳۱	۱۴۰۲/۱۰/۰۸	۱۴۰۲/۱۰/۰۸	۱۴۰۲/۰۹/۰۵	۱۴۰۲/۰۶/۱۲
عرفان شافعی e.shafei@uut.ac.ir					*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

سیستم های معمول دیوار برشی مقاوم در برابر زلزله که دستورات آیین نامه های حاضر را برآورده می‌کنند، معمولاً جهت جلوگیری از خرابی طراحی می‌گردند [1]. در ساختمانهای بتن مسلح، استفاده از دیوار برشی باعث افزایش سختی و مقاومت جانبی سازه می‌گردد. دیوارهای برشی به دلیل سختی زیاد و ظرفیت جذب انرژی، از عناصر باربر جانبی ویژه برای طراحی مقاوم در برابر زلزله محسوب می‌شوند. با افزایش روزافزون سازه‌های بلندمرتبه دیوارهای برشی با شکل‌پذیری بالا مورد نیاز است. یکی از معایب دیوارهای برشی بتنی وجود وصله پوششی میلگرد طولی دیوار می‌باشد که بدلیل محدودیت های اجرایی امری اجتناب ناپذیر است. انواع وصله های پوششی و مکانیکی می‌تواند در دیوار برشی بتنی استفاده گردد. خیرالدین و همکارانش تحقیقات آزمایشگاهی را در مورد تاثیر وصله های مکانیکی و پوششی در تیر بتنی انجام داده و به این نتیجه رسیدند که وصله های پوششی میتواند رفتار بهتری نسبت به وصله های مکانیکی داشته باشد. آنها با تغییر محل وصله توانستند شکل پذیری تیر را تا حدود ۲ برابر افزایش دهند [2]. وجود وصله موجب لغزش میلگرد در ناحیه اتصال شده و باعث کاهش عملکرد لرزه‌ای دیوار می‌شود.

از پارامترهای تاثیرگذار در رفتار لغزشی یا تنش پیوستگی میلگرد و بتن می‌توان به میزان میلگرد عرضی اشاره کرد. میلگرد عرضی محصور شدگی بتن را کنترل کرده و بر میزان تنش پیوستگی تاثیر می‌گذارد. کمپون^۱ و همکاران، رفتار تنش پیوستگی و لغزش میلگرد در بتن سبک تحت بارگذاری استاتیکی چرخه‌ای، تأثیر محصورشدگی بتن را به صورت تجربی مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که با افزایش محصورشدگی بتن میزان ظرفیت تنش پیوستگی میلگرد با بتن نیز افزایش می‌یابد [4]. دنیرک^۲ و همکاران، رفتار پیوستگی میلگرد در سازه‌های بتن آرمه را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مقاومت پیوستگی در ترک منفرد (با حداقل میلگرد) کاهش یافته و تأثیر محصورشدگی و پوشش بتن روی میلگرد در تنش پیوستگی بیشتر است [5]. فانتلی^۳ و همکاران، رفتار لغزش برحسب تنش پیوستگی اعضاء تحت کشش، در مقطع ترک‌خورده را بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که در محل ترک کل نیروی کششی وارد به عضو توسط میلگرد تحمل شده و این نیرو توسط نیروی پیوند (تنش پیوستگی) به بتن وارد می‌شود. آنها نشان دادند در عضو تحت کشش اگر نسبت میلگرد از حداقل کمتر و یا بیشتر باشد بر اساس نفوذ کرنش و تنش پیوستگی بین میلگرد و بتن، شکل ترک‌خوردگی در طول المان متفاوت می‌باشد [6]. هاسکت^۴ و همکاران، رفتار کلی پیوستگی میلگرد در بتن را مورد بررسی قرار دادند و مدل رفتاری تنش برشی بین میلگرد و بتن را ارائه دادند. هنگ^۵ و پارک^۶ رابطه رفتار تنش پیوستگی و لغزش بین میلگرد و بتن را مورد بررسی قرار داده و مدل رفتاری جدیدی ارائه دادند [7].

از دیگر پارامترهای تاثیرگذار در رفتار لغزشی یا تنش پیوستگی قطر میلگرد می‌باشد. موری^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 [8]. وو^۸، مدل رفتاری یکنواختی را برای رابطه تنش پیوستگی و لغزش ارائه داده است. او به این نتیجه رسید که عوامل زیادی از قبیل مقاومت فشاری بتن، ضخامت پوشش بتن، قطر میلگرد، درصد میلگرد عرضی، فاصله خاموتها، طول مهاری، نسبت آج و شکل آج در مقاومت پیوستگی مؤثر می‌باشند [9].

یکی از پارامترهای تاثیرگذار در رفتار و شکل پذیری دیوار استفاده از روش جداسازی میلگرد از بتن (غلافگذاری) می‌باشد. روش غلاف گذاری و یا جداسازی میلگرد از بتن یک روش نوین جهت افزایش شکل‌پذیری سازه‌های بتن‌آرمه می‌باشد. در این روش با تعبیه غلاف در طول مشخصی از میلگرد، تماس میلگرد با بتن در آن ناحیه قطع شده و باعث کاهش کرنش میلگرد در آن ناحیه می‌گردد. کاهش

1 Campion
2 Denerek
3 Fantilli
4 Haskett
5 Hong
6 Park
7 Murray
8 Wu

کرنش میلگرد باعث به وجود آمدن ترک های ثانویه در بتن گردیده و در نهایت موجب افزایش شکل پذیری سازه می شود. بائو⁹ و همکاران، روشی را جهت جلوگیری و کاهش ریسک خرابی پیشرونده در سازه های بتن آرمه ارائه دادند. در این روش از جداسازی میلگرد از بتن استفاده کردند. این روش باعث بهبود شکل پذیری در حدود ۳۰ درصد شده بود. همچنین این عمل باعث می شود که تمرکز کرنش در یک ترک عریض در تیر به گسترش کرنش در طول غلاف گذاری تبدیل شده و باعث تأخیر در گسیختگی گردد [10]. السید¹⁰ تأثیر جداسازی میلگرد در سازه بتن آرمه را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسید که جداسازی میلگرد باعث بهبود شکل پذیری و جذب انرژی بیشتر، دستیابی به تغییر شکل های بزرگتر و امکان افزایش کرنش میلگرد در طول بزرگ می گردد [11]. شیمازاکی¹¹ با بررسی تأثیر جداسازی میلگردهای قطری تیر پیوند از بتن، به این نتیجه رسید که این عمل باعث کاهش خرابی و افزایش جذب انرژی لرزه ای می گردد. کرنش در میلگرد قطری به صورت یکنواخت بوده و مستقل از شدت تنش خمشی می باشد. در این حالت تغییر شکل قطری افزایش یافته و می توان میزان مصرف میلگرد را کاهش داد [12]. ابراهیم رفتار لرزه ای ستون بتن آرمه با میلگرد جداسازی شده از بتن را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسید که این مسئله می تواند افزایش باربری ستون و کاهش تغییر مکان پسماند را به دنبال داشته باشد [13]. حسین و همکاران تأثیر پیوستگی و عدم پیوستگی (جداسازی) میلگرد پیش کشیده به بتن در رفتار لرزه ای سازه های بتن آرمه با بتن معمولی و بتن با مقاومت بالا را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که عدم پیوستگی میلگرد به بتن، باعث افزایش شکل پذیری تیرها می شود [14]. موسی اثرات کاهش پیوستگی میلگرد در طول های مختلف جداسازی را با بتن در تیرهای بتن آرمه بررسی نمودند. با کاهش پیوستگی میلگرد با بتن، کرنش میلگرد به صورت قابل توجهی کاهش یافته و درعین حال تغییر شکل تیر افزایش می یابد [15]. گوشان¹² و همکارانش رفتار لرزه ای دیوار های برشی بتنی پیش ساخته را به صورت آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار دادند. آنها در این دیوار ها از سیستم غلاف و تزریق گروت بتن برای اتصال قطعات پیش ساخته به فنداسیون استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که روش غلاف به همراه گروت بتنی در دیوار های برشی بتنی پیش ساخته عملکرد لرزه ای مناسبی داشته و می توان از این دیوار ها در سازه های تا ۶ طبقه استفاده کرد [16].

اکاچی¹³ و همکارانش مطالعات آزمایشگاهی و عددی را در مورد دیوار های برشی بتنی پیش ساخته با استفاده از اتصال غلاف و گروت بتن انجام دادند. آنها دو دیوار برشی بتنی پیش ساخته با اتصال های متفاوت به فنداسیون را با یک دیوار برشی بتنی درجا ریخته شده مقایسه کرده و به این نتیجه رسیدند که دیوار با اتصال غلاف و گروت بتن رفتار لرزه ای مناسبی داشته و به لحاظ شکل پذیری و استهلاک انرژی تقریباً مشابه با دیوار برشی بتنی درجا ریخته شده عمل کرد [17].

مین وو¹⁴ و همکارانش با بررسی آزمایشگاهی رفتار لرزه ای یک دیوار برشی بتنی پیش ساخته با اتصال غلاف و تزریق گروت بتنی در مقایسه با یک دیوار برشی بتنی درجا ریخته شده به این نتیجه رسیدند که اتصال قطعه پیش ساخته به فنداسیون با غلاف و گروت بتنی در دیوار های برشی بتنی پیش ساخته می تواند به لحاظ عملکرد لرزه ای رفتار مناسب و تقریباً مشابه با دیوار یکپارچه و درجا ریخته شده داشته باشند [18].

هدف اصلی این تحقیق بررسی رفتار لرزه ای دیوار های برشی بتنی دارای وصله پوششی در میلگرد طولی است. برای بررسی دقیق تر این موضوع پس از صحت سنجی نتایج عددی حاصله با نتایج آزمایشگاهی تحقیقات پیشین، رفتار ۲۴ مدل دیوار که به لحاظ قطر میلگرد طولی، طول وصله پوششی، درصد میلگرد عرضی و جداسازی میلگرد از بتن با یکدیگر متفاوت هستند به صورت عددی و المان محدود مورد مطالعه قرار گرفت. مدل های انتخابی با در نظر گرفتن مقاومت پیوند و لغزش در ناحیه اتصال با روش های تحلیلی عددی و المان محدود تحت بار ثقلی و بار جانبی چرخه ای استاتیکی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. روش تحقیق به صورت فلوچارت در شکل (۱) نشان داده شده است.

9 Bao

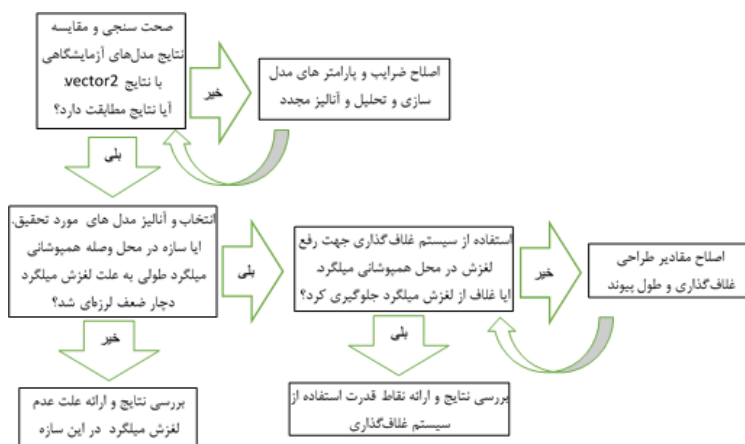
10 Elsayed

11 Shimazaki

12 Guoshan Xu

13 Ekkachai Yooprasertchai

14 Min Wu



شکل ۱: فلوچارت فرآیند روش تحقیق

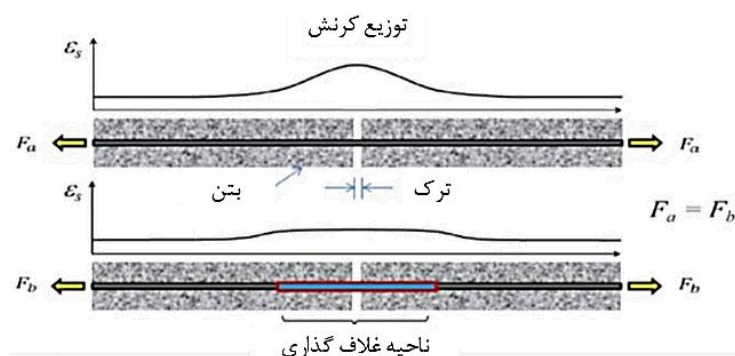
۲- مدل‌سازی عددی غیرخطی

۲-۱) تنش پیوستگی میلگرد و بتن

عمل پیوند وسیله‌ای 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 مماسی پیوند مقاومت می‌کند. در مورد میلگردهای داخل بتن، مقاومت پیوند از چسبندگی شیمیایی، اصطکاک و قفل مکانیکی با بتن ناشی می‌شوند [9]. در مناطقی که تنش‌های پیوند به اندازه کافی کم باشند، ممکن است پیوند کامل وجود داشته باشد. زمانی که به علت تنش زیاد در اطراف ترک‌ها میلگرد تمایل به بیرون کشیده شدن از بتن را دارد تنش پیوستگی میلگرد و بتن بحرانی می‌شود. در این مورد، تغییر در کرنش میلگرد در پاسخ به بارگذاری برابر است با تغییر در کرنش کل بتن است. در تنش‌های بالاتر پیوند، 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 برخی از اعضا ممکن است عملکرد ناقص پیوند بر رفتار و پاسخ سازه تاثیر چندانی نداشته باشد. اما در مقابل سازه‌هایی هستند که حساس به رفتار پیوند می‌باشند. در نواحی همپوشانی میلگرد‌ها اگر مقاومت پیوند تامین نگردد، پیوندی که می‌تواند به طور قابل توجهی بر پاسخ هیستریزس تأثیر بگذارد، ممکن است توزیع داخلی تنش را تغییر داده و باعث شود سازه در بارگذاری‌های چرخه‌ای تدریجی و زوال مقاومت را تجربه کند [19].

۲-۲) غلاف‌گذاری

استفاده از روش غلاف‌گذاری یکی از راهکارهای افزایش شکل پذیری دیوارهای برشی بتنی محسوب می‌گردد [10-15]. شکل (۲) نشان می‌دهد که استفاده از غلاف باعث بهبود توزیع کرنش در طول غلاف‌گذاری می‌گردد. توزیع کرنش میلگرد در حالت بدون غلاف به صورت محلی بوده و باعث باز شدن ترک منفرد در بتن شده ولی جداسازی میلگرد از بتن باعث بهبود توزیع کرنش در طول میلگرد و بوجود آمدن ترک‌های ثانویه در بتن شده که متعاقباً افزایش شکل پذیری را به دنبال خواهد داشت. در مدل‌های مورد بررسی این تحقیق غلاف‌گذاری در فاصله ۴۰ برابر قطر میلگرد از روی فنداسیون و طبق آیین نامه ACI 318-19 به طول ۸ برابر قطر میلگرد در تمامی میلگردهای المان مرزی و جان دیوار مدلسازی گردید [20].

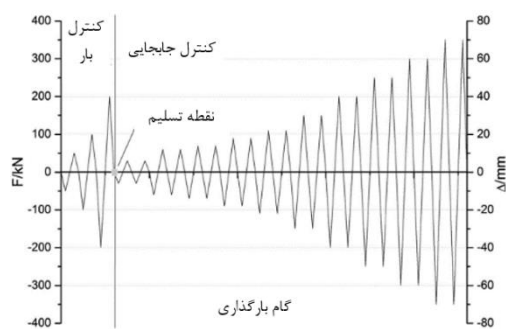


شکل ۲: تاثیر جداسازی در توزیع کرنش میلگرد [17]

۲-۳ بارگذاری

قبل از شروع تحلیل، فشار محوری عمودی وارد بر دیوار برابر با ۵ درصد مقاومت فشاری و برابر با ۳۷۵ کیلونیوتن به عنوان بار ثقلی به دیوار وارد شده است. قبل از شروع بارگذاری جانبی نیروی کنترل بار جهت رسیدن دیوار به تسلیم به صورت تک سیکلی و رفت و برگشتی جانبی به دیوار اعمال شده است. پس از رسیدن دیوار به تسلیم، جابجایی افقی به صورت چرخه‌ای رفت و برگشتی در ۲ سیکل تا لحظه گسیختگی دیوار تکرار شد [22]. پروتکل بارگذاری در

شکل (۳) نشان داده شده است.



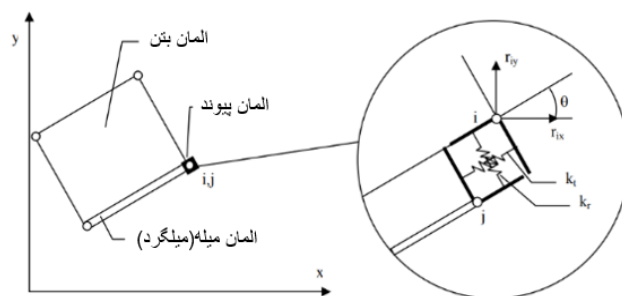
شکل ۳: پروتکل بارگذاری [22].

۲-۴ مدل المان محدود

در این تحقیق برای مطالعه رفتار دیوارهای برشی از نرم افزار تخصصی المان محدود VecTor2 بهره گرفته شده است. VecTor2 مکانیسم‌های لغزش پیوند را با استفاده از عناصر پیوند و منحنی‌های تنش-لغزش پیوند مدل می‌کند، شکل (۴). عناصر پیوند به عنوان رابط‌های تغییرشکل‌پذیر بین بتن و میلگرد عمل می‌کنند. پاسخ تنش-لغزش عناصر پیوند توسط منحنی تنش-لغزش پیوند تعریف می‌شود. منحنی‌های تنش-لغزش به خواص مواد، قطر میلگرد، مقاومت و محصورشدگی بتن بستگی دارد. برای مدل‌سازی رفتار پیوند از مدل تنش-لغزش الیگاوسن^{۱۵} استفاده شده است [21].

المان پیوند که در شکل (۴) نشان داده شده است، یک المان دو گره‌ای بی بعد است. این المان با دو گره مختلف i و j تعریف می‌شود. یکی از گره‌ها روی المان بتن و گره دیگر روی المان میلگرد قرار می‌گیرد. قبل از لغزش، گره‌های i و j باید مختصات یکسانی داشته

باشند. هر یک از گره‌ها می‌توانند در جهات x و y تغییر مکان داشته باشند، لذا المان پیوند یک المان با 4 درجه آزادی می‌باشد. المان پیوند را می‌توان بصورت دو فنر متعامد در نظر گرفت که المان بتن و میلگرد را به یکدیگر متصل می‌کند. یک فنر به طور مماس با میلگرد تغییر شکل می‌دهد که نشان دهنده لغزش و تنش‌های پیوند بوده و فنر دیگر به صورت شعاعی تغییر شکل می‌دهد که نشان دهنده جابجایی‌ها و تنش‌های شعاعی میلگرد است [19].



شکل ۴: مدل عددی المان پیوند [19]

۵-۲) صحت سنجی

قبل از شروع مدل سازی و تحلیل، جهت حصول اطمینان از مدل سازی و آنالیز انجام یافته، یک دیوار مدل سازی شده و به صورت عددی با نرم افزار VecTor2 مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج حاصله با نتایج مطالعات آزمایشگاهی تحقیقات پیشین مطابقت داده شد. جیان گو^{۱۶} و جی دانگ^{۱۷} و همکارانش در سال ۲۰۱۹ در ووهان- چین^{۱۸} به صورت آزمایشگاهی دیوار برشی بتنی را تحت بارگذاری چرخه ای مورد مطالعه قرار دادند [23]. جهت بررسی صحت نتایج مطالعات عددی تحقیق حاضر از نتایج آزمایشگاهی دیوار فوق‌الذکر استفاده شده است. مدل عددی و مدل آزمایشگاهی به ترتیب در شکل (۵) و شکل (۶) نشان داده شده است. رده بتن مورد استفاده C30 می‌باشد. سایر مشخصات مکانیکی دیوار برشی مورد آزمایش به قرار جدول (۱) می‌باشد که عینا در مدل سازی عددی لحاظ گردیده است. اندازه مش‌های مدل عددی ۵۰ میلی‌متر می‌باشد. پروتکل بارگذاری در شکل (۳) نشان داده شده است که در بالاترین سطح دیوار به صورت چرخه ای افقی اعمال شده است [23].

منحنی‌های هیستریزس حاصل از نتایج آزمایشگاهی و مطالعات عددی انجام شده در شکل (۷) نشان داده شده است. مقایسه نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که شبیه سازی عددی به درستی انجام پذیرفته و نتایج حاصله از صحت قابل قبولی برخوردار می‌باشند.

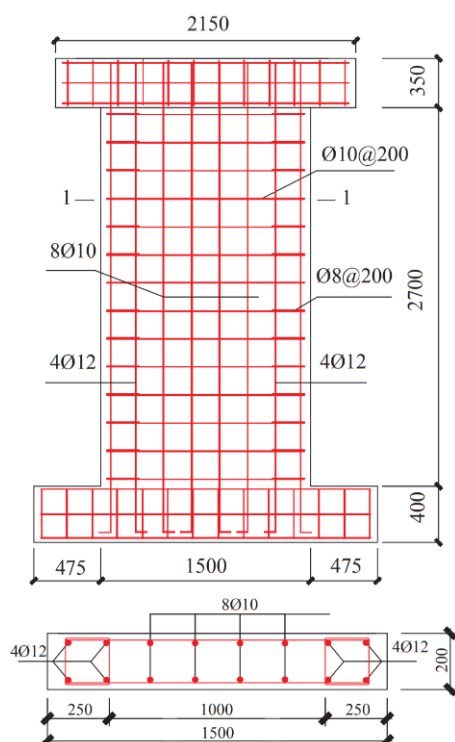
جدول ۱: مشخصات مکانیکی میلگرد های مصرفی مدل آزمایشگاهی

نوع میلگرد	d (mm)	f_y (MPa)	f_w (MPa)	E (MPa)
HRB400	10	478	639	1.81×10^5
HRB400	12	454	592	2.10×10^5
HRB400	18	454	589	1.98×10^5

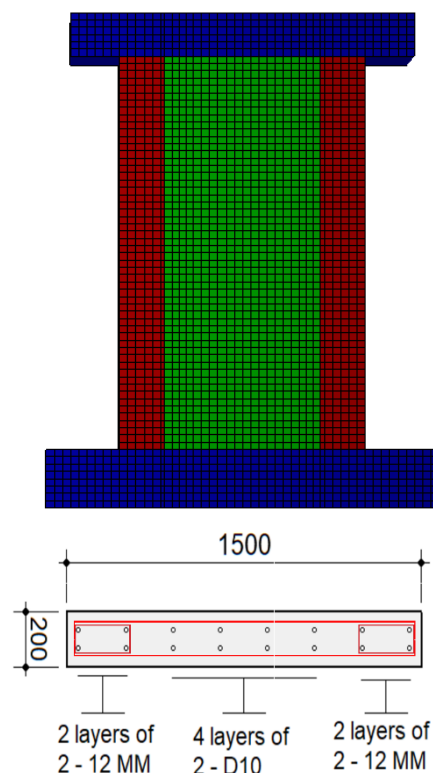
16 Ge Dong

17 Ge Dong

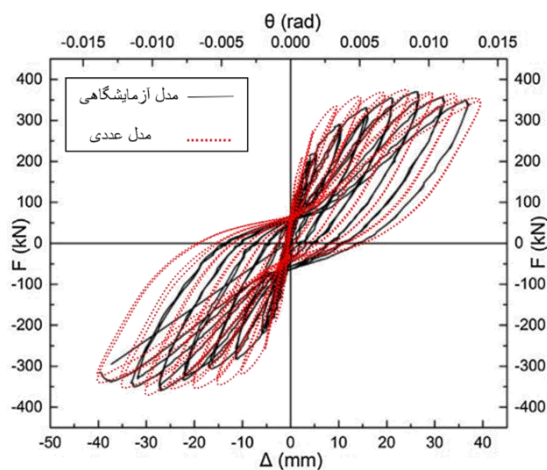
18 Wuhan-China



شکل ۶: مشخصات دیوار مدل آزمایشگاهی.



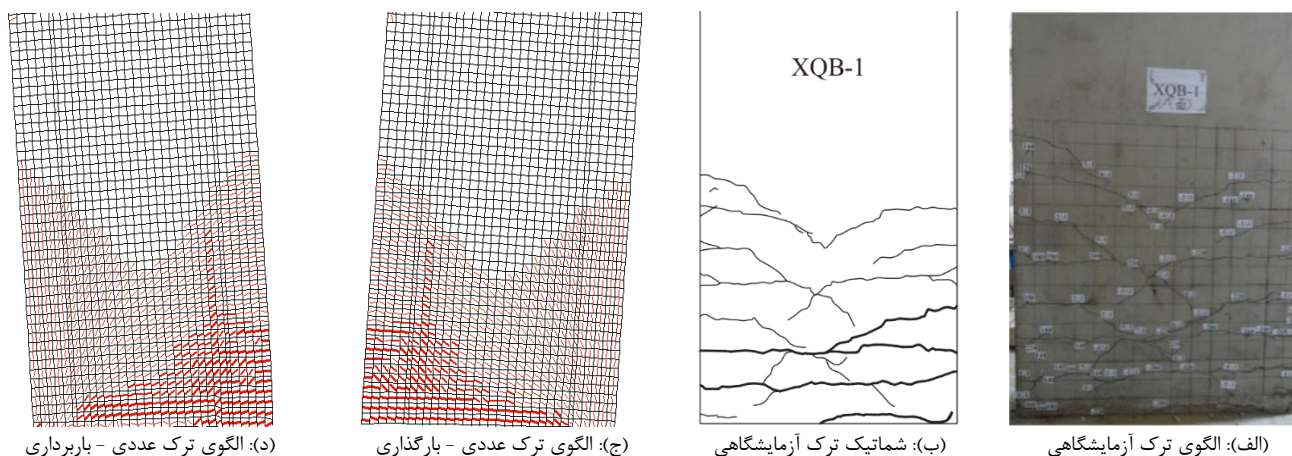
شکل ۵: مدل شبیه سازی شده در نرم افزار VecTor2.



شکل ۷: منحنی های هیستریزس مدل آزمایشگاهی و مدل عددی

در شکل (۸) ترک های مدل آزمایشگاهی و مدل عددی نشان داده شده است. اشکال (الف) و (ب) مربوط به نمونه آزمایشگاهی و اشکال (ج) و (د) مربوط به مدل عددی در دو حالت رفت و برگشتی می باشند. با توجه به پاسخ های نیرو-تغییر مکان کلی سازه و منحنی های هیستریزس شکل (۷)، در مدل عددی اولین ترک افقی در نیروی ۱۵۰ کیلونیوتن و تغییر مکان ۱/۵۶ میلیمتر و در ارتفاع ۱۰۰ میلیمتر روی تراز فنداسیون ظاهر گردید، در حالی که در مدل آزمایشگاهی اولین ترک افقی در نیروی ۱۲۰/۶ کیلونیوتن و تغییر مکان ۱/۳۷ میلیمتر در ارتفاع ۲۰۰ میلیمتری تراز روی فنداسیون ظاهر شده بود. حداکثر نیروی نهایی دیوار در مدل عددی ۳۷۲/۷ کیلونیوتن و

در تغییر مکان ۳۰ میلیمتر رخ داد، در صورتی که در مدل آزمایشگاهی نیروی نهایی دیوار ۳۷۲/۲ کیلونیوتن و در تغییر مکان ۲۶/۲۷ میلیمتر اتفاق افتاده است. زمانی که تغییر مکان دیوار در مدل عددی به ۲۵ میلیمتر رسید یکی از اولین ترک های ظاهر شده در ارتفاع ۱۰۰ میلیمتر بالاتر از تراز فنداسیون گسترش پیدا کرد و عرض ترک به ۲/۵۴ میلیمتر رسیده و در تمامی عرض دیوار به صورت موازی با سطح روی فنداسیون گسترش پیدا کرد. در تغییر مکان ۴۰ میلیمتر عرض ترک ۶ میلیمتر شد و دیوار به ۸۵٪ مقاومت نهایی خود رسید. اختلاف نتایج مدل ها در f_y (ظرفیت تسلیم) به میزان ۶٪، f_p (ظرفیت نهایی) کمتر از ۱٪، D_{μ} (تغییر مکان نهایی) به مقدار ۷٪ و μ (ضریب شکل پذیری) ۴٪ می باشد. با مقایسه نتایج و مکانیسم خرابی دیوارها ملاحظه می گردد که مدل عددی تطابق قابل قبولی با مدل آزمایشگاهی دارد.



شکل ۸: مقایسه ترک های نمونه آزمایشگاهی و مدل شبیه سازی شده.

۳- مطالعات پارامتریک

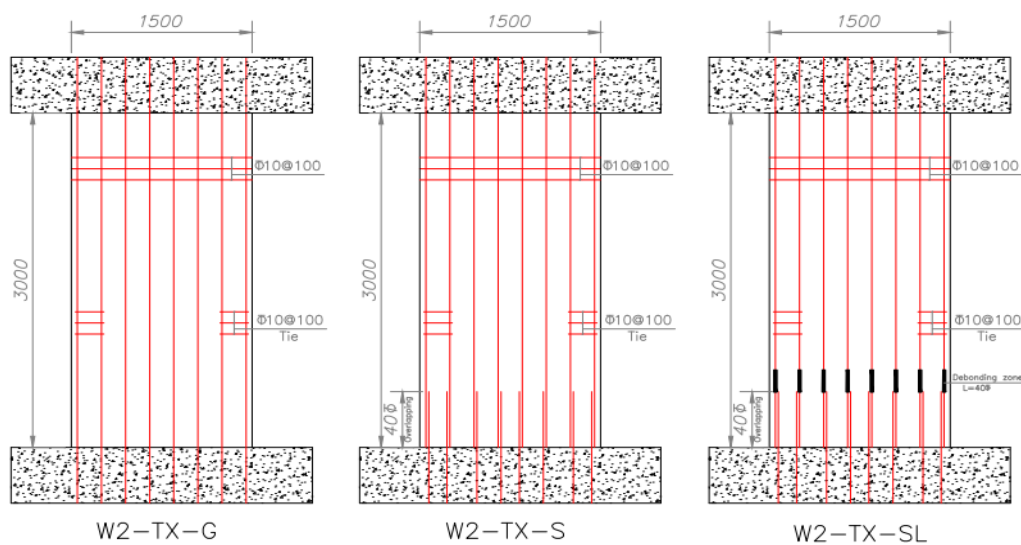
۳-۱) نامگذاری مدل ها

برای معرفی مدل ها از نامگذاری $WX - TX - X^*$ استفاده شده است. عدد بعد از W نشانگر نسبت ارتفاع به عرض دیوار و عدد بعد از T نشانگر قطر میلگرد استفاده شده در دیوار به میلی متر می باشد. آخرین حرف نیز به سه حالت G یا S یا SL می باشد. که حرف G نشانگر دیوار با میلگرد سراسری و بدون وصله پوششی بوده و به عنوان دیوار مرجع جهت مقایسه با سایر دیوار ها می باشند. حرف S نشانگر دیوار با وصله پوششی میلگرد طولی در پای دیوار، و حروف SL نشانگر دیوار با وصله پوششی و غلاف می باشد. وجود " * " در انتهای این نامگذاری نشان دهنده دیوار با میلگرد برشی $\rho_v=0/784\%$ و در غیر اینصورت دیوار با میلگرد برشی $\rho_v=0/392\%$ می باشد. به عنوان مثال مدل دیوار $W2-T20-SL^*$ نشانگر دیوار با نسبت ابعادی ۲، قطر میلگرد ۲۰ میلی متر و دیوار با وصله پوششی و غلاف گذاری شده با میلگرد برشی $\rho_v=0/784\%$ می باشد. میزان میلگرد برشی موجود در این تحقیق در دو دسته میلگرد برشی کم ($\rho_v=0.392\%$) و میلگرد برشی زیاد ($\rho_v=0.784\%$) در نظر گرفته شده است. تفاوت بین نمونه ها در حالت کلی و عمده عدم وجود وصله پوششی، وجود وصله پوششی، و وجود همزمان وصله پوششی و غلاف با در نظر گرفتن اثرات قطر و درصد میلگرد عرضی می باشد. مدل های انتخابی با ابعاد هندسی ضخامت دیوار ۲۰۰ میلیمتر، عرض دیوار ۱۵۰۰ میلیمتر، ارتفاع ۳۰۰۰ میلیمتر و با نسبت ارتفاع به عرض دیوار ۲ انتخاب گردیده اند. ابعاد المان مرزی در تمامی مدل ها ۲۷۰*۲۰۰ میلیمتر و پوشش بتن روی میلگرد ۲۰ میلیمتر می باشد. در تمامی مدل ها از میلگرد نمره ۱۰ در فواصل ۱۰۰ میلیمتری در دو وجه دیوار با درصد میلگرد برشی $\rho_v=0/784\%$ و در فواصل ۲۰۰ میلیمتری در دو وجه دیوار با درصد میلگرد برشی $\rho_v=0/392\%$ به عنوان میلگرد عرضی استفاده شده است. میلگرد عرضی در المان مرزی دیوار خاموت نمره ۱۰ در فواصل ۱۰۰ و ۲۰۰ میلیمتری با درصد میلگرد عرضی به ترتیب $\rho_v=0/784\%$ و $\rho_v=0/392\%$ می باشد. رده بتن مورد استفاده C25 می باشد. شکل شماتیک مدل دیوار ها در شکل (۹) و مشخصات آنها در جدول (۲) نشان داده شده است. طول همپوشانی میلگرد های طولی مطابق با آیین نامه ACI برابر با ۴۰ برابر قطر میلگرد محاسبه و در جدول (۲) نشان داده شده است [20].

جدول ۲: مشخصات میلگرد گذاری مدل های عددی

شماره مدل	المان مرزی			جان دیوار			طول غلاف (میلیمتر)	طول همپوشانی (میلیمتر)
	میلگرد طولی	میلگرد عرضی	درصد میلگرد طولی	میلگرد طولی	میلگرد عرضی	درصد میلگرد طولی		
W2-T14-G*							-	-
W2-T14-S*	8Ø14	Ø 10 @ 100mm	$\rho=2.2\%$	2 x 11 Ø 14	Ø 10 @ 100mm	$\rho=1.7\%$	-	560
W2-T14-SL*							112	560
W2-T16-G*							-	-
W2-T16-S*	6 Ø 16	Ø 10 @ 100mm	$\rho=2.2\%$	2 x 8 Ø 16	Ø 10 @ 100mm	$\rho=1.6\%$	-	640
W2-T16-SL*							128	640
W2-T18-G*							-	-
W2-T18-S*	5 Ø 18	Ø 10 @ 100mm	$\rho=2.3\%$	2 x 7 Ø 18	Ø 10 @ 100mm	$\rho=1.8\%$	-	720
W2-T18-SL*							144	720
W2-T20-G*							-	-
W2-T20-S*	4T20	Ø 10 @ 100mm	$\rho=2.3\%$	2 x 5 Ø 20	Ø 10 @ 100mm	$\rho=1.6\%$	-	800
W2-T20-SL*							160	800
W2-T14-G							-	-
W2-T14-S	8 Ø 14	Ø 10 @ 200mm	$\rho=2.2\%$	2 x 11 Ø 14	Ø 10 @ 200mm	$\rho=1.7\%$	-	560
W2-T14-SL							112	560
W2-T16-G							-	-
W2-T16-S	6 Ø 16	Ø 10 @ 200mm	$\rho=2.2\%$	2 x 8 Ø 16	Ø 10 @ 200mm	$\rho=1.6\%$	-	640
W2-T16-SL							128	640
W2-T18-G							-	-
W2-T18-S	5 Ø 18	Ø 10 @ 200mm	$\rho=2.3\%$	2 x 7 Ø 18	Ø 10 @ 200mm	$\rho=1.8\%$	-	720
W2-T18-SL							144	720
W2-T20-G							-	-
W2-T20-S	4 Ø 20	Ø 10 @ 200mm	$\rho=2.3\%$	2 x 5 Ø 20	Ø 10 @ 200mm	$\rho=1.6\%$	-	800
W2-T20-SL							160	800

مشخصات مکانیکی میلگرد ها در مدل های شبیه سازی شده مطابق جدول (۳) می باشد. e_{sh} کرنش سخت شوندگی مجدد فولاد و e_u کرنش نهایی فولاد می باشد.



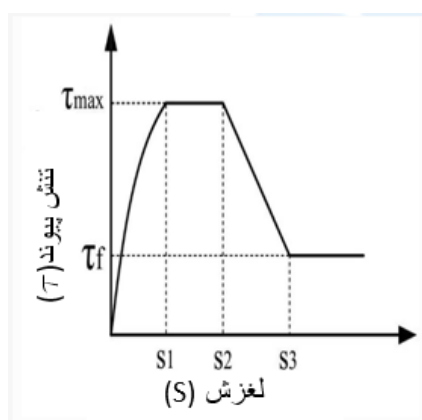
شکل ۹: شکل شماتیک دیوار های شبیه سازی شده.

جدول ۳: مشخصات مکانیکی میلگرد های مدل عددی

Rebar diameter (mm)	Fy (MPa)	Fu (MPa)	E (MPa)	e _{sh} (%)	e _u (%)
14, 16, 18, 20	460	640	200000	0.012	0.14
10	400	600	200000	0.01	0.15

۲-۳) رابطه تنش-لغزش^{۱۹}

جهت مدل سازی لغزش میلگرد از رابطه تنش-لغزش الیگوسن استفاده شده است [24]. شکل (۱۰) رابطه تنش برشی پیوند را در مقابل لغزش میلگرد نشان می‌دهد. اگر مقدار تنش وارده به حداکثر مقدار محاسبه شده در جدول (۴) برسد تغییرات کرنش در میلگرد و بتن متفاوت شده و در نتیجه لغزش اتفاق خواهد افتاد. روابط مربوط به محاسبه تنش و لغزش در روابط (1-7) نشان داده شده است.



جدول ۴: مقادیر تنش-لغزش پیوند.

Parameter	Rebar Diameter			
	14	16	18	20
S1 (mm)	0.043	0.04	0.037	0.035
S2 (mm)	3	3	3	3
S3 (mm)	7.9	11.2	11.2	13.6
τ max (MPa)	4.47	4.18	3.94	3.74
τf (MPa)	1.39	1.3	1.23	1.17

شکل ۱۰: مدل تنش-لغزش پیوند.

$$\tau_{s1} \left(\frac{\Delta}{\Delta_{s1}} \right)^a$$

$$\tau = \begin{cases} \tau_{s2} & \text{for } \Delta \leq \Delta_{s1} \\ \tau_{s2} & \text{for } \Delta_{s1} < \Delta \leq \Delta_{s2} \\ \tau_{s2} - \left[\frac{(\Delta - \Delta_{s2})}{(\Delta_{s3} - \Delta_{s2})} (\tau_{s2} - \tau_{sf}) \right] & \text{for } \Delta_{s2} < \Delta \leq \Delta_{s3} \\ \tau_{sf} & \text{for } \Delta_{s3} < \Delta \end{cases} \quad (1)$$

$$\tau_{s1} = 0.748 \sqrt{\frac{f_{cc} c}{d_b}} \leq \tau_{p1} \quad (2)$$

$$\tau_{n2} = \tau_{i1} \quad (3)$$

$$\tau_{sf} = 0.234 \sqrt{\frac{f_{cc} c}{d_b}} \leq \tau_{nf} \quad (4)$$

$$\Delta_{s1} = \Delta_{p1} \exp \left[\frac{1}{a} \ln \left(\frac{\tau_{n1}}{\tau_{p1}} \right) \right] \quad (5)$$

$$\Delta_{s2} = \Delta_{p2} \quad (6)$$

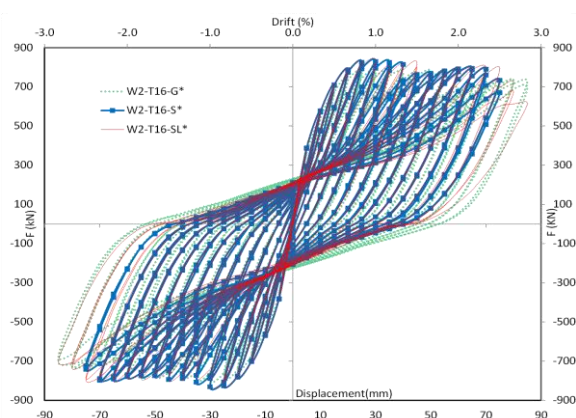
$$\Delta_{s3} = \Delta_{p3} \quad (7)$$

پارامترهای تعیین کننده مقاومت برشی پیوند، قطر میلگرد، پوشش بتن میلگرد و مقاومت فشاری بتن می باشند. جهت مدل سازی رفتار لغزشی، تنش های برشی و لغزش های متناظر با آن برای قطر های مختلف میلگرد محاسبه و در جدول نشان داده شده است. مقاومت فشاری بتن و پوشش بتن روی میلگرد به ترتیب 25MPa و 20mm می باشند.

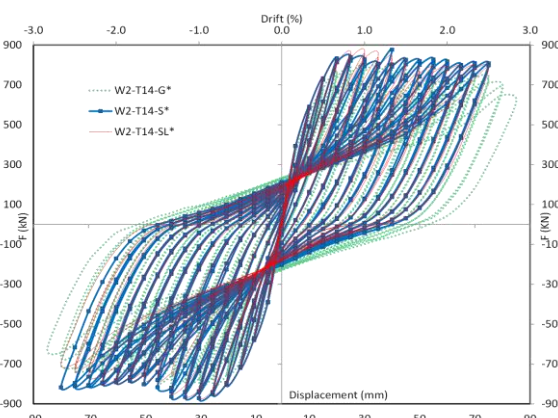
۴ - نتایج تحلیل

۴-۱) رفتار هیستریزیس دیوار با میلگرد برشی زیاد

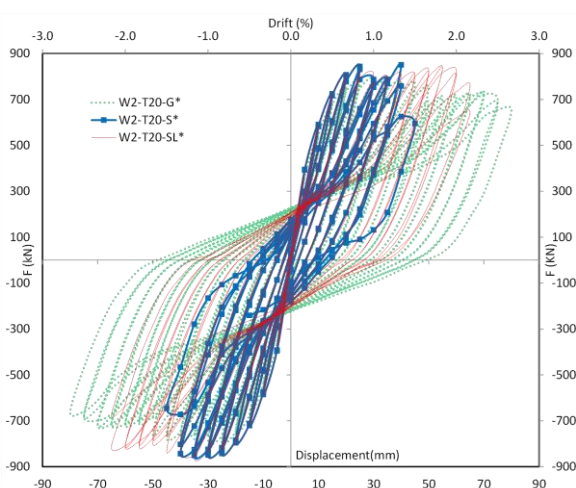
منحنی های هیستریزیس که نشانگر رفتار و پاسخ سازه در برابر نیرو های وارده و انرژی جذب شده توسط دیوار می باشند در شکل (۱۱) نشان داده شده است. هر یک از این شکل ها دارای ۳ منحنی هیستریزیس می باشند. منحنی سبز رنگ مربوط به دیوار با میلگرد سراسری (بدون وصله پوششی)، منحنی آبی رنگ مربوط به دیوار دارای وصله پوششی و منحنی قرمز رنگ مربوط به دیوار دارای وصله و غلاف می باشد. در شکل های (الف) و (ب) که مربوط به دیوارهای با میلگرد نمره ۱۶ و ۱۴ می باشند لغزش کلی میلگرد اتفاق نیفتاده و دیوار توانسته تا دریفت ۲/۵٪ تغییر شکل های مورد انتظار را فراهم کند.



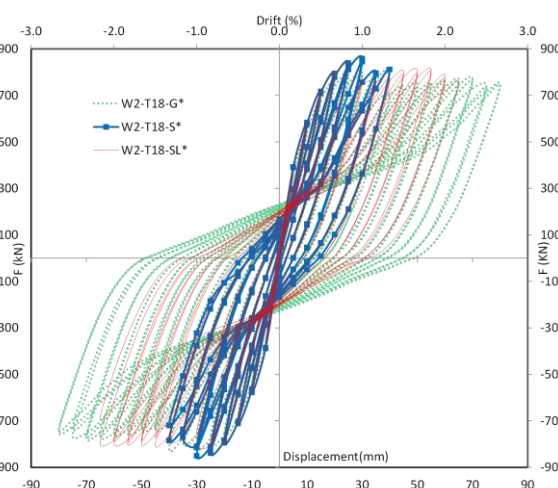
شکل (ب): دیوار با میلگرد قطر ۱۶ میلیمتر



شکل (الف): دیوار با میلگرد قطر ۱۴ میلیمتر



شکل (د): دیوار با میلگرد قطر ۲۰ میلیمتر



شکل (ج): دیوار با میلگرد قطر ۱۸ میلیمتر

شکل (۱۱): منحنی های هیستریزیس دیوار با قطر های میلگرد متفاوت و میلگرد برشی زیاد ($\rho_v=0.784\%$)

دیوار های مذکور بدلیل داشتن میلگرد با قطر کم و تعداد زیاد، دارای مقاومت پیوستگی بیشتری نسبت به سایر دیوارها بوده و نیروی وارده به دیوار جهت بیرون کشیدن میلگرد ها از بتن کمتر از مقاومت پیوستگی تامین شده می‌باشد. لذا در این دیوار ها غلاف گذاری نتوانسته است تغییر چندانی در شکل پذیری دیوار ها ایجاد کند. شکل‌های (ج) و (د) مربوط به دیوار های با میلگرد نمره ۱۸ و ۲۰ می‌باشد، با توجه به نمودار آبی رنگ در این اشکال ملاحظه می‌شود که این دیوار ها به علت داشتن مقاومت پیوستگی کمتر، لغزش میلگرد اتفاق افتاده و دیوار دچار کاهش سختی آنی شده و حداکثر دررفت ایجاد شده در این دیوارها برابر با ۱/۳٪ بوده و این دیوارها نتوانسته اند تغییر شکل های مورد انتظار را فراهم کنند.

پدیده پینچینگ یکی از معیارهای مقایسه رفتار هیستریزیس سازه می‌باشد. پدیده پینچینگ به لاغر شدن منحنی چرخه‌ای یک عضو سازه‌ای گفته می‌شود. در این حالت سطح زیر منحنی در سیکل‌های بالا افت پیدا کرده و مقداری افت مقاومت و سختی نیز در نمودار حاصل شده و به نوعی شیب منحنی نیرو-تغییر مکان کم می‌شود. این پدیده نامطلوب بوده و باعث کاهش اتلاف انرژی در سیکل‌های بالا می‌شود. در گروه دیوارهای دارای وصله، دیوار های با میلگرد نمره ۱۸ و ۲۰ با توجه به منحنی های هیستریزیس لاغر این دیوار ها می‌توان دریافت که لغزش میلگرد باعث تشدید پدیده پینچینگ شده و باعث کاهش اتلاف انرژی در سیکل های بالا تر شده است. مشاهده می‌شود در این دیوار ها غلافگذاری نتوانسته است وضعیت پینچینگ دیوار را تا حد قابل توجهی بهبود بخشد.

۲-۴) رفتار هیستریزیس دیوار های با میلگرد برشی کم

منحنی های هیستریزیس دیوارهای با میلگرد برشی کم در شکل (۱۲) نشان داده شده است. یکی از آیتم های کنترل کننده پینچینگ دیوارها میزان میلگرد برشی می‌باشد. لذا با مقایسه هر یک از منحنی های هیستریزیس با منحنی های هیستریزیس مشابه خود با میلگرد برشی بیشتر ملاحظه می‌گردد که وضعیت پینچینگ این دیوار ها بدتر شده است. در گروه دیوار های دارای وصله، در دیوار های با میلگرد نمره ۱۴ و ۱۶ به دلیل تنش پیوستگی بیشتر با بتن، میلگرد ها لغزش نکرده و دیوار نتوانسته به ترتیب دررفت های ۱/۱۸٪ و ۱/۷۶٪ را تجربه کند. ولی دیوار های وصله دار با قطر میلگرد ۱۸ و ۲۰ میلیمتر بدلیل مقاومت پیوند کمتر، میلگرد دچار لغزش شده و مقدار دررفت به ترتیب از ۲٪ به ۱/۱۸٪ و ۱/۳٪ افت کرده و دیوارها نتوانسته اند تغییر شکل های مورد انتظار را فراهم کنند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد در این گروه از دیوار ها بدلیل میزان میلگرد برشی کم و محبوس شدگی کمتر بتن، غلافگذاری نتوانست شکل پذیری دیوار های وصله‌دار که دچار لغزش شده بودند را افزایش دهد.

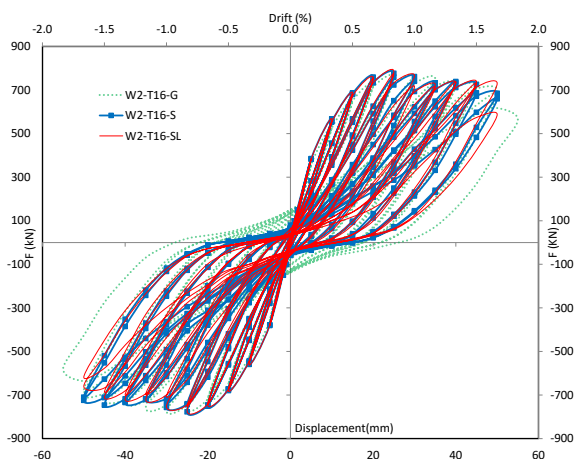
۳-۴) تنش پیوستگی

مقدار نیروی پیوستگی تامین شده توسط تمامی میلگرد ها در کشش خالص با استفاده از رابط (۸) محاسبه و در شکل (۱۴) نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که دیوار با میلگرد نمره ۱۴ نسبت به دیوار با میلگرد نمره ۲۰ دارای ۲۳٪ نیروی پیوستگی بیشتری می‌باشد. در شکل (۱۳) نسبت مساحت پیرامونی میلگرد های مشارکت کننده در تامین تنش پیوستگی نسبت به مساحت صفحه دیوار، در ناحیه همپوشانی میلگرد، برای هر یک از دیوار ها نشان داده شده است. این نسبت برای دیوار با میلگرد نمره ۱۴ حدود ۴۸٪ بیشتر از این نسبت برای دیوار با میلگرد نمره ۲۰ می‌باشد. افزایش قطر میلگرد سبب کاهش تنش پیوستگی می‌شود، لذا می‌توان نتیجه گرفت که دیوار های با میلگرد قطر کم و تعداد زیاد نسبت به دیوار های با میلگرد قطر زیاد و تعداد کم دارای رفتار مطلوب تری خواهند بود.

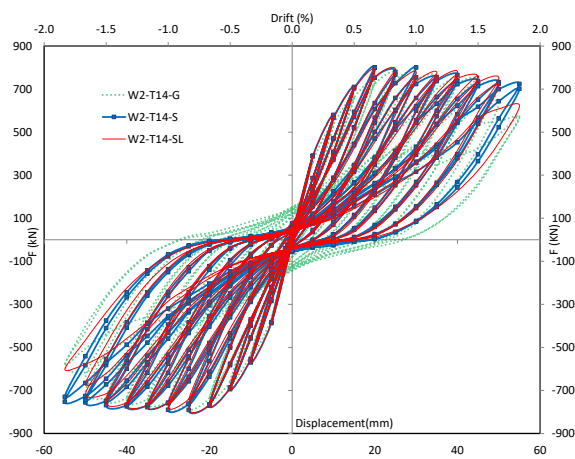
$$F = \pi \times d_b \times L_d \times n \times \tau_{\max} \quad (8)$$

در رابطه فوق F مقدار نیروی پیوستگی تامین شده توسط تمامی میلگردهای ناحیه همپوشانی در کشش خالص، d_b قطر میلگرد، L_d طول همپوشانی، n تعداد میلگرد های طولی دیوار و τ_{\max} طبق مقادیر جدول (۴) می‌باشد.

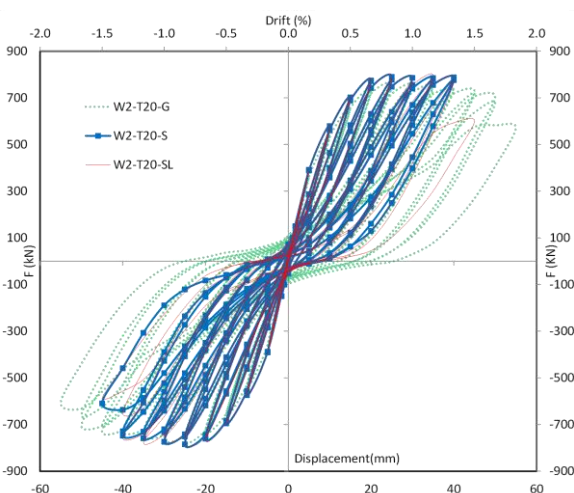
در شکل (۱۳) مساحت مشارکت کننده کل میلگردهای ناحیه همپوشانی در تامین مقاوت پیوند و A_w مساحت صفحه دیوار در محدوده همپوشانی می باشد ($A_w=1500 \times 40$).



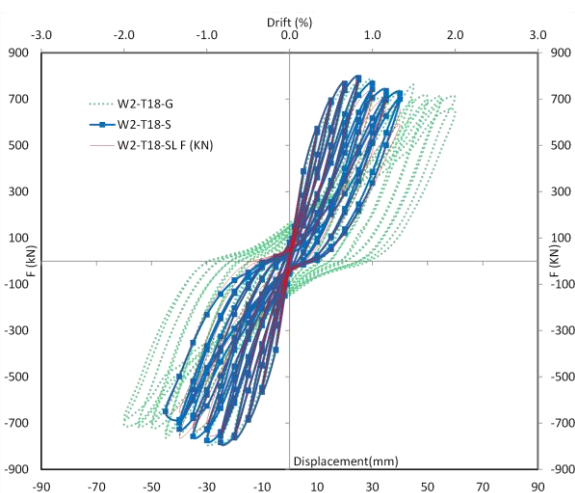
شکل (ب): دیوار با میلگرد قطر ۱۶ میلیمتر



شکل (الف): دیوار با میلگرد قطر ۱۴ میلیمتر

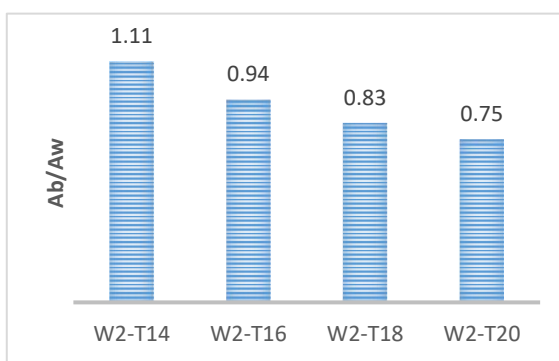
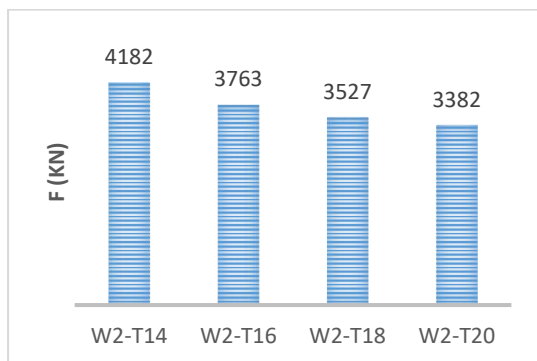


شکل (د): دیوار با میلگرد قطر ۲۰ میلیمتر



شکل (ج): دیوار با میلگرد قطر ۱۸ میلیمتر

شکل (۱۲): منحنی های هیستریزس دیوار با قطرهای میلگرد متفاوت و میلگرد برشی کم ($\rho_v=0.392\%$)



شکل (۱۴): نیروی کشش خالص تامین شده توسط میلگرد ها

شکل (۱۳): نسبت مساحت مشارکت کننده در تامین مقاوت پیوند به مساحت صفحه دیوار در محدوده همپوشانی

۴-۴) شکل پذیری

ضریب شکل پذیری برای دیوارهای برشی بتنی با میلگردهای فولادی بعد از اینکه بار نهایی ۱۵ درصد افت کرد از روی تغییر مکان های همسان آن مشخص می گردد [20]. ضریب شکل پذیری دیوار نسبت تغییر مکان متناظر با ۸۵٪ ظرفیت باربری نهایی به تغییر مکان نظیر نقطه تسلیم دیوار می باشد. برای مقایسه شکل پذیری دیوارها شکل پذیری در ۳ حالت دیوار بدون وصله پوششی، دیوار با وصله پوششی و دیوار با وصله پوششی و غلاف برای هر یک از دیوارها در شکل (۱۵) نشان داده شده است. بیشترین شکل پذیری در بین تمامی دیوارها ۵/۶۷ بوده که مربوط به دیوار W2-T16-G* می باشد. کاهش شکل پذیری دیوارهای با وصله پوششی با میلگردهای نمره ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰ نسبت به دیوار بدون وصله به ترتیب ۱۷٪، ۱۲٪، ۵۰٪ و ۵۰٪ می باشد. استفاده از روش جدا سازی میلگرد از بتن با بکارگیری غلاف در میلگرد های طولی توانسته این کاهش شکل پذیری را به ترتیب به ۱۲٪، ۶٪، ۲۳٪ و ۲۸٪ محدود کند. استفاده از روش غلاف گذاری توانسته ضعف شکل پذیری ناشی از لغزش میلگرد را تا حد مطلوبی جبران کند.



شکل (ب): ضریب شکل پذیری گروه دیوارهای با میلگرد برشی زیاد

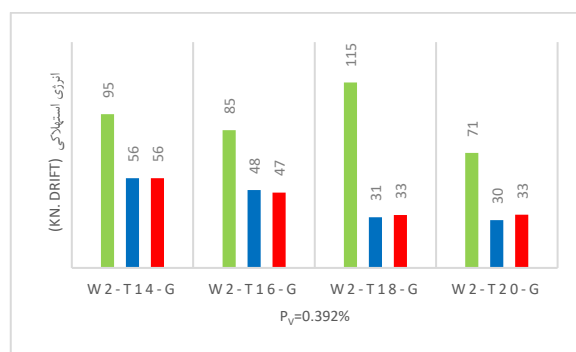
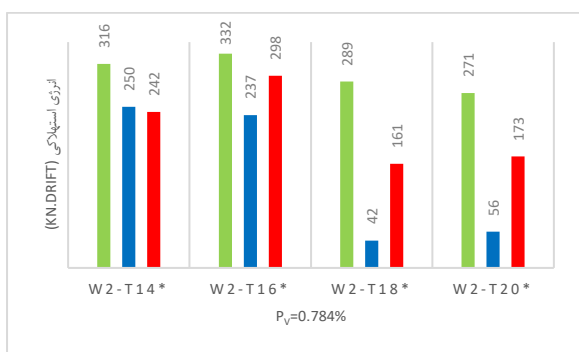
شکل (الف): ضریب شکل پذیری گروه دیوارهای با میلگرد برشی کم

شکل (۱۵): ضریب شکل پذیری مدل های شبیه سازی شده.

۴-۵) انرژی مستهلک شده

میزان جذب انرژی یکی از ویژگی های بسیار مهم دیوار برشی به حساب می رود. برای محاسبه انرژی جذب شده مساحت سطح زیر منحنی های هیستریزس به روش انتگرال گیری محاسبه و در شکل (۱۶) نشان داده شده است. با بررسی شکل (۱۶) می توان دریافت که در دیوارهای W2-T14-S و W2-T14-SL میزان انرژی جذب شده تقریباً یکسان بوده و حدود ۸۰٪ انرژی جذب شده توسط دیوار مرجع خود (W2-T14-G) می باشد. دیوار W2-T16-S توانسته ۷۱٪ انرژی جذب شده دیوار مرجع خود (W2-T16-G) را جذب کند. بیشترین تغییرات انرژی جذب شده در دیوارهای با میلگرد نمره ۱۸ و ۲۰ به علت لغزش میلگرد و کاهش سختی زودرس در این دیوارها می باشد. دیوارهای W2-T18-S و W2-T20-S به ترتیب توانسته اند فقط ۱۴٪ و ۲۰٪ انرژی دیوارهای مرجع خود را مستهلک کنند. استفاده از غلاف گذاری در این دیوارها باعث شده که میزان انرژی مستهلک شده در دیوارهای W2-T18-SL و W2-T20-SL به ترتیب به ۵۶٪ و ۶۴٪ انرژی مستهلک شده توسط دیوار مرجع برسد، یعنی به ترتیب با ۴ و ۳ برابر افزایش به حالت دارای وصله پوششی. وجود غلاف در میلگرد طولی دیوار باعث به تاخیر افتادن لغزش میلگرد در ناحیه اتصال شده و باعث افزایش جذب انرژی می شود.

دیوار با میلگرد سراسری و بدون وصله پوششی
 دیوار با وصله پوششی
 دیوار با وصله پوششی و غلاف گذاری شده



شکل (ب): انرژی استهلاکی گروه دیوارهای با میلگرد برشی زیاد

شکل (الف): انرژی استهلاکی گروه دیوارهای با میلگرد برشی کم

شکل (۱۶): انرژی استهلاکی برای دو دسته میلگرد برشی کم و زیاد

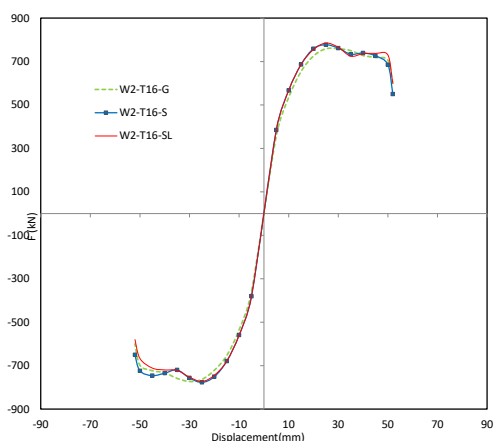
۴-۶ پوش نیرو - تغییر مکان

منحنی های نیرو تغییر مکان مدل های با میلگرد برشی کم در شکل (۱۷) نشان داده شده است. در این دیوارها به علت استفاده از میلگرد برشی کم (حدود ۱/۵ برابر میلگرد برشی حداقل) دریفت ۲۰ نهایی تجربه شده در این دیوار ها حدود ۱/۷٪ می باشد.

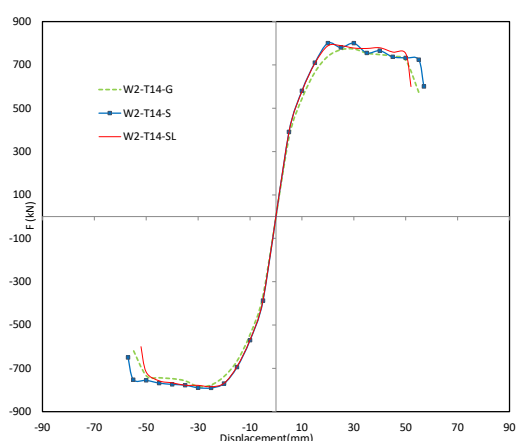
در دیوار های W2-T14-S و W2-T16-S پدیده لغزش در دریفت ۱/۷٪ اتفاق افتاده، ولی در دیوارهای W2-T18-S و W2-T20-S لغزش در دریفت ۱/۳٪ رخ داده است.

در گروه دیوارهای با میلگرد برشی کم، استفاده از روش غلافگذاری برای افزایش شکل پذیری آنگونه که انتظار می رفت موثر نبود. این دیوارها به علت ضعف در میلگرد برشی معمولاً شکست برشی را تجربه کرده و استفاده از غلاف جهت افزایش شکل پذیری عملکرد مناسبی نداشت. برای بهره گیری از غلاف، میلگرد عرضی باید کفایت لازم را داشته باشد.

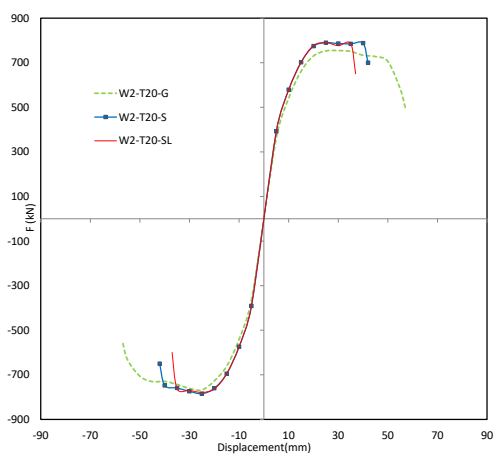
منحنی های نیرو-تغییر مکان مدل های با میلگرد برشی زیاد در شکل (۱۸) نشان داده شده است. تمامی دیوار های با میلگرد سراسری (دیوار های مرجع) توانسته اند تغییر شکل های معادل با دریفت ۲/۵٪ را تجربه کنند. در دیوار های W2-T14-S* و W2-T16-S* لغزش میلگردهای طولی به ترتیب در دریفت های ۲/۵٪ و ۲/۳٪ و در دیوار های W2-T18-S* و W2-T20-S* لغزش در دریفت ۱/۱۵٪ رخ داده است. این دریفت کمترین میزان دریفت در بین تمامی مدل های این تحقیق می باشد که به علت لغزش میلگرد طولی به این میزان محدود شده است. لغزش میلگرد باعث کاهش سختی و شکست دیوار شده است. روش غلاف گذاری توانست دریفت ۱/۱۵٪ دیوارهای مذکور (کمترین میزان دریفت) را با ۷۰٪ افزایش به دریفت ۲٪ برساند.



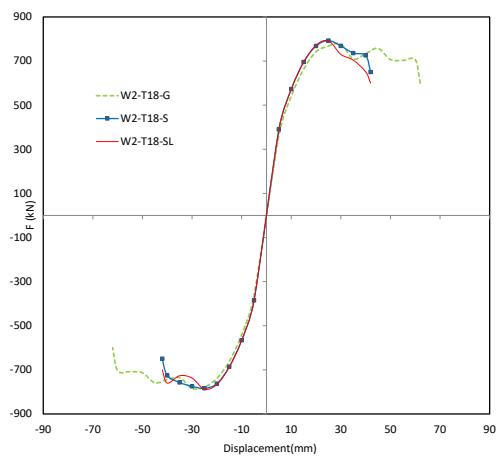
شکل (ب): دیوار با میلگرد قطر ۱۶ میلیمتر



شکل (الف): دیوار با میلگرد قطر ۱۴ میلیمتر

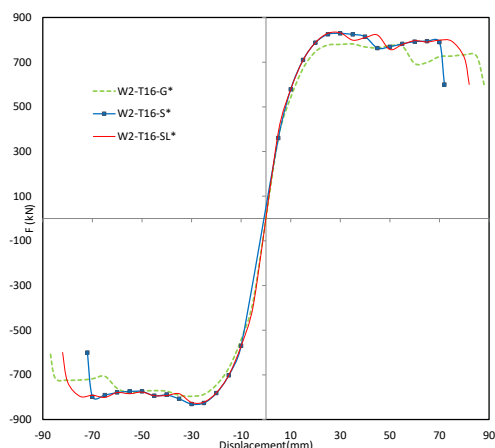


شکل (د): دیوار با میلگرد قطر ۲۰ میلیمتر

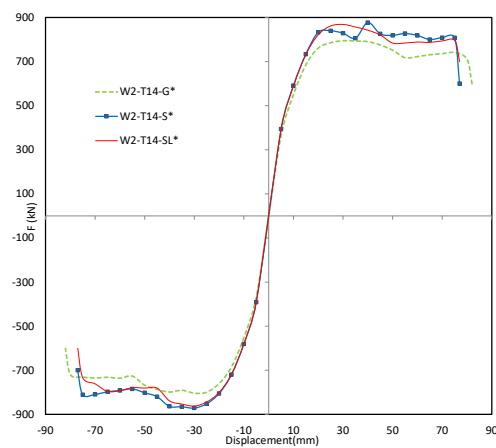


شکل (ج): دیوار با میلگرد قطر ۱۸ میلیمتر

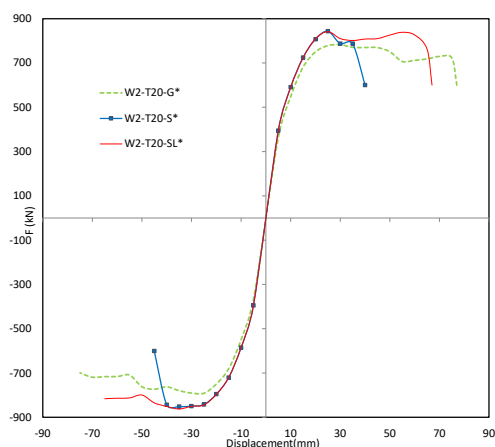
شکل (۱۷): منحنی نیرو-تغییر مکان گروه دیوارهای با میلگرد برشی کم ($\rho_v=0.392\%$)



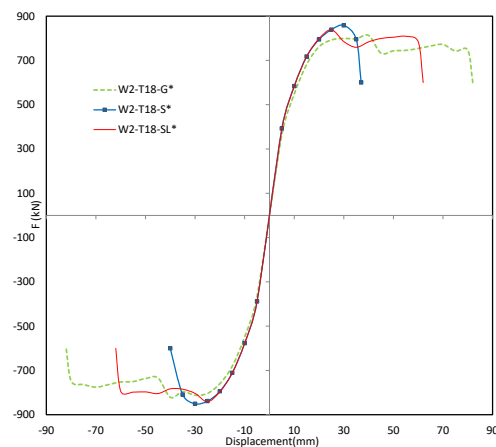
شکل (ب): دیوار با میلگرد قطر ۱۶ میلیمتر



شکل (الف): دیوار با میلگرد قطر ۱۴ میلیمتر



شکل (د): دیوار با میلگرد قطر ۲۰ میلیمتر

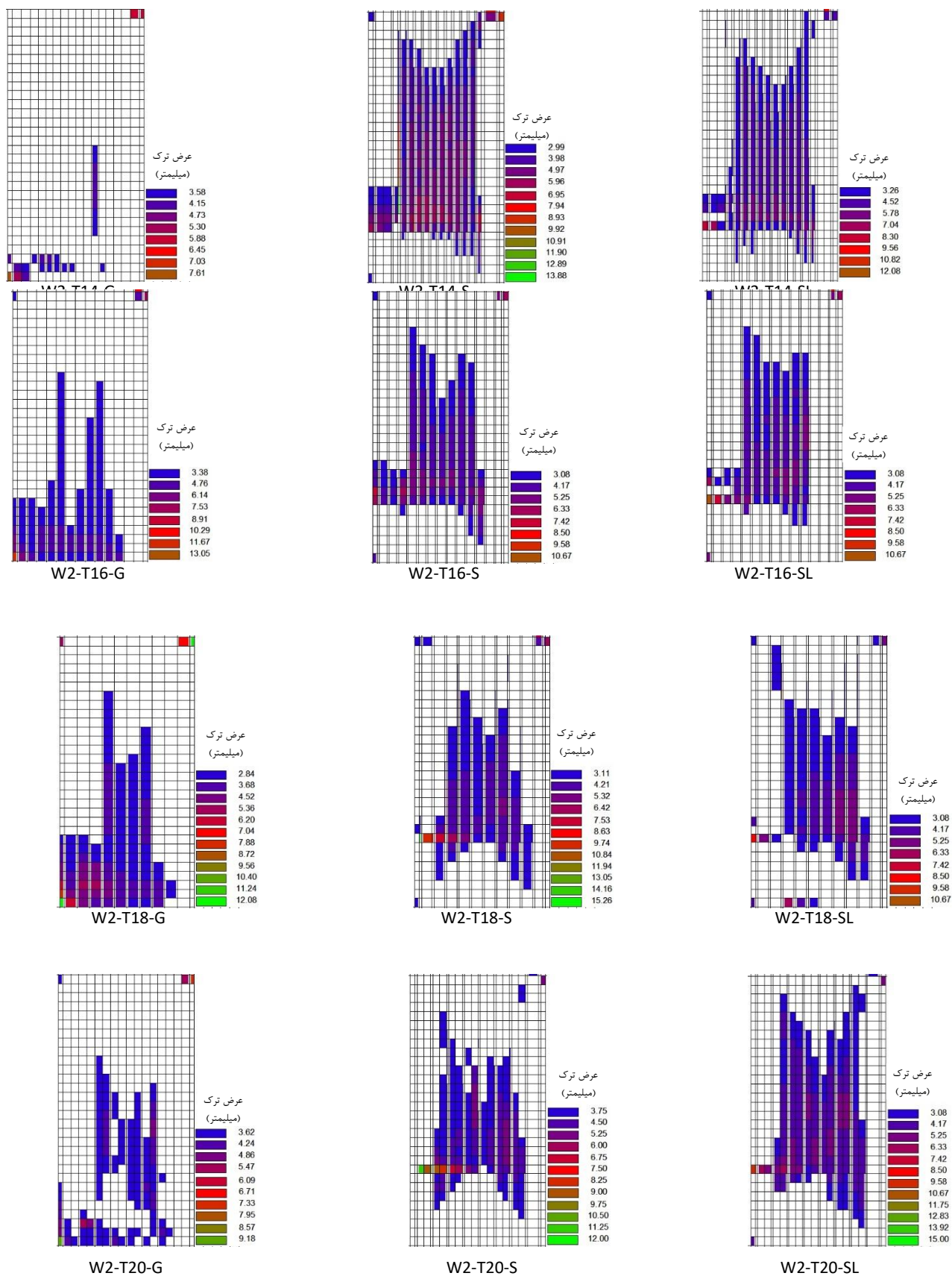


شکل (ج): دیوار با میلگرد قطر ۱۸ میلیمتر

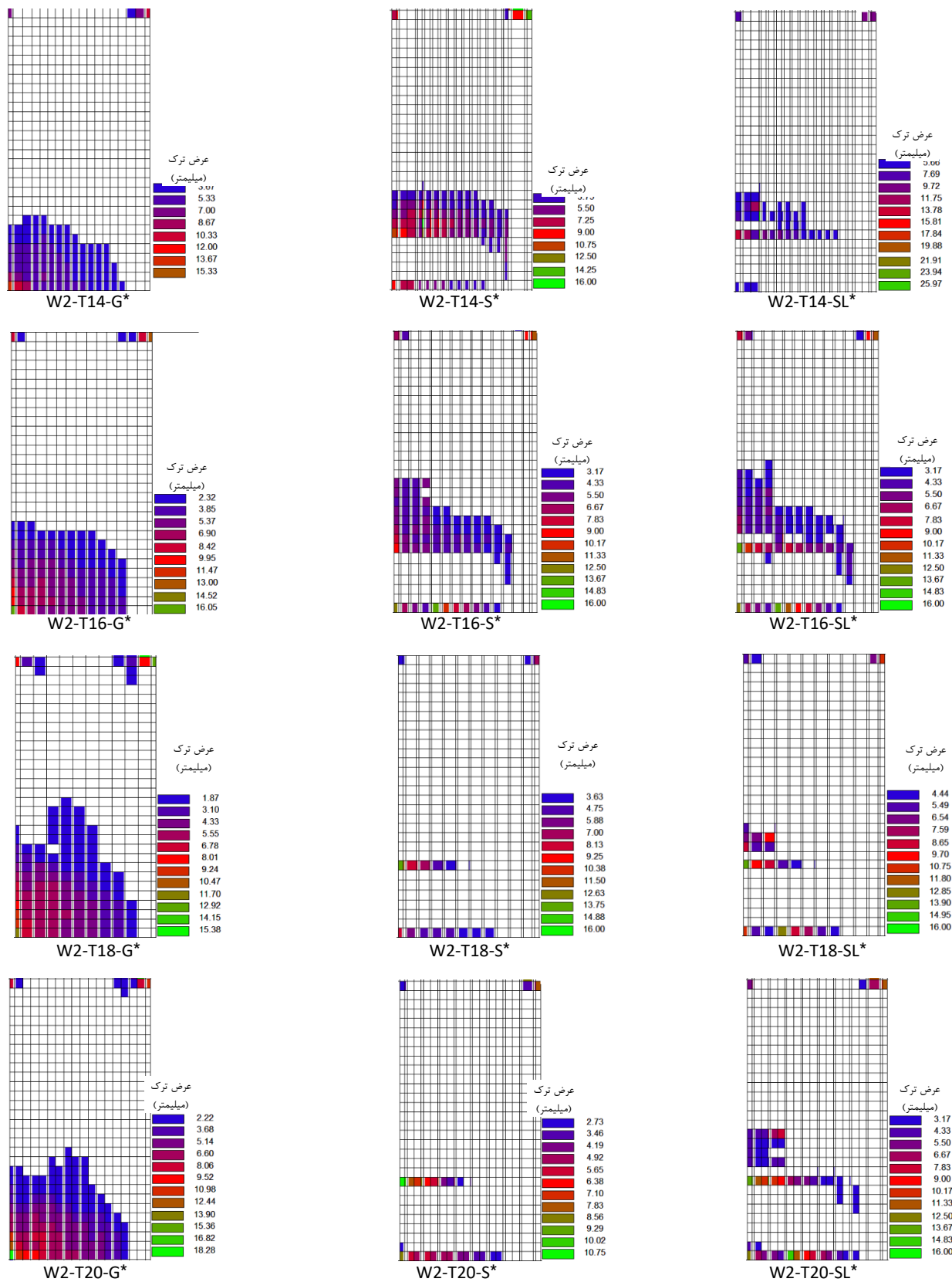
شکل (۱۸): منحنی نیرو-تغییر مکان گروه دیوارهای با میلگرد برشی زیاد ($\rho_v=0.784\%$)

۷-۴) توزیع و گسترش ترک‌ها

شکل (۱۹) توزیع ترک و حالت شکست را در مدل‌های با میلگرد برشی $\rho_v=0/392\%$ نشان می‌دهد. پایین‌ترین وجه اشکال، سطح رویی فنداسیون بوده و ارتفاع مش‌ها ۱۰۰ میلیمتر می‌باشند. دیوارهای گروه با میلگرد سراسری (دیوارهای مرجع) عریض‌ترین ترک‌ها را در پای دیوار و سایر دیوارها عریض‌ترین ترک‌ها را در انتهای وصله تجربه کرده‌اند. در این دیوارها به علت میزان میلگرد برشی کم لغزش صفحات در امتداد ارتفاع دیوار روی داده است. روش غلاف‌گذاری نتوانسته از میزان ترک خوردگی‌ها در ارتفاع دیوار بکاهد. در گروه دیوارهای با میلگرد سراسری بهترین رفتار را به لحاظ عرض ترک دیوار با میلگرد قطر ۱۴ میلیمتر داشته است. دیوارها دارای خرابی یکسانی بوده و در دیوارهای گروه وصله دار و گروه غلاف دار گسیختگی دیوار در انتهای وصله پوششی روی داده ولی در دیوارهای با میلگرد سراسری گسیختگی دیوار در ارتفاع ۱۰۰ میلیمتر بالاتر از سطح رویی فنداسیون رخ داده است.



شکل (۱۹): عرض ترک دیوارهای با میلگرد برشی کم ($p_v=0/392\%$)



شکل (۲۰): عرض ترک دیوارهای با میلگرد برشی زیاد ($p_v=0/784\%$)

شکل (۲۰) نشان دهنده عرض ترک ها به میلیمتر در مدل های با میلگرد برشی زیاد می باشد. ارتفاع مش ها ۱۰۰ میلیمتر می باشد. اولین ترک به عرض بزرگتر از ۳ میلیمتر در گروه دیوارهای دارای وصله و گروه دیوارهای دارای غلاف در تغییر مکان ۲۰ میلیمتر در ارتفاع ۱۰۰ میلیمتر از سطح روی فنداسیون ظاهر شده و در تغییر مکان ۳۰ میلیمتر ترک ها در انتهای وصله نیز ظاهر گردیده و در این محل گسترش پیدا کردند. دیوار ها دارای خرابی یکسانی می باشند. در گروه دیوار های وصله دار، دیوارهای با میلگرد قطر ۱۴ و ۱۶ میلیمتر به علت عدم لغزش، ترک های ثانویه در انتهای وصله ظاهر گردیده و دیوارها تغییر مکان های مورد انتظار را فراهم کرده اند. ولی در دیوارهای وصله دار با میلگرد قطر ۱۸ و ۲۰ میلیمتر به علت لغزش میلگرد ترک منفرد در انتهای وصله ایجاد شده و در نهایت دیوار از همان محل دچار گسیختگی گردیده است.

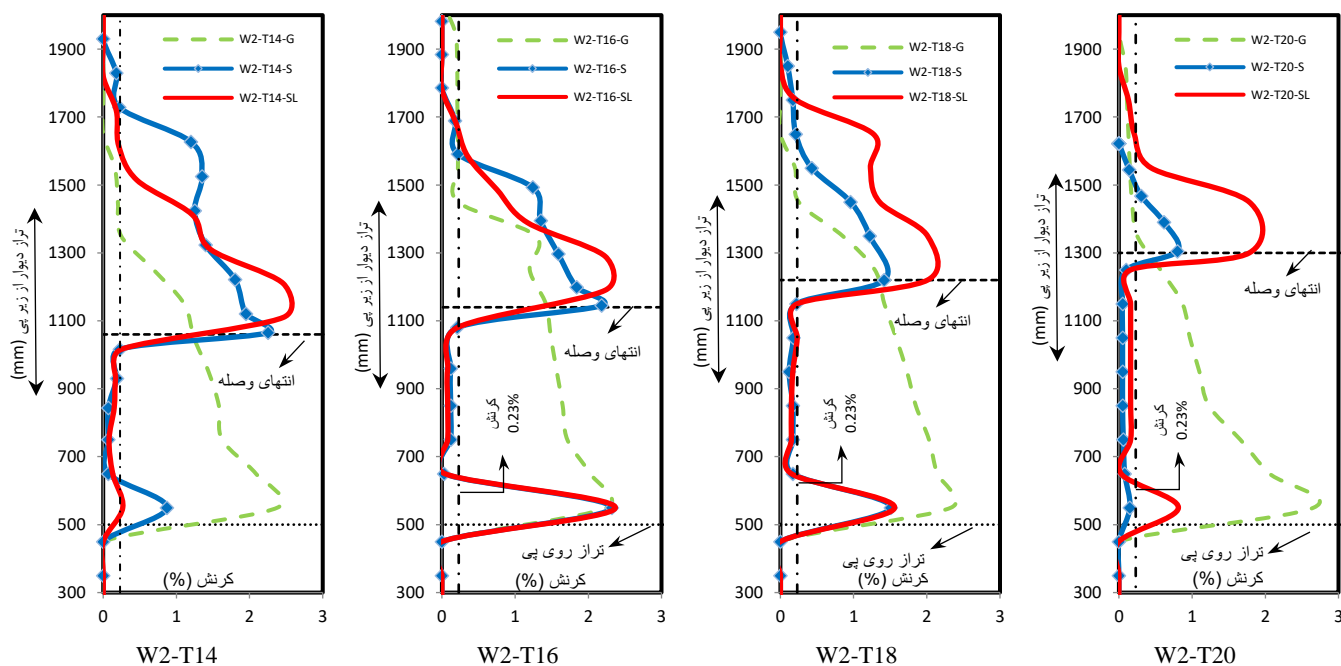
در دیوارهای گروه غلاف دار با میلگرد نمره ۱۴ و ۱۶ لغزش اتفاق نیافتاده و غلاف گذاری تغییرات چندانی در توزیع ترک ها ایجاد نکرده است. ولی در همین گروه، دیوارهای با میلگرد نمره ۱۸ و ۲۰ در مقایسه با حالت بدون غلاف، ترک های ثانویه با عرض بیشتر از ۶ میلیمتر به علت وجود غلاف ظاهر گردیده و دیوار توانسته است تغییر شکل های مورد انتظار را فراهم سازد.

۴-۸) کرنش میلگرد دیوار های با میلگرد برشی $pv=0/392\%$

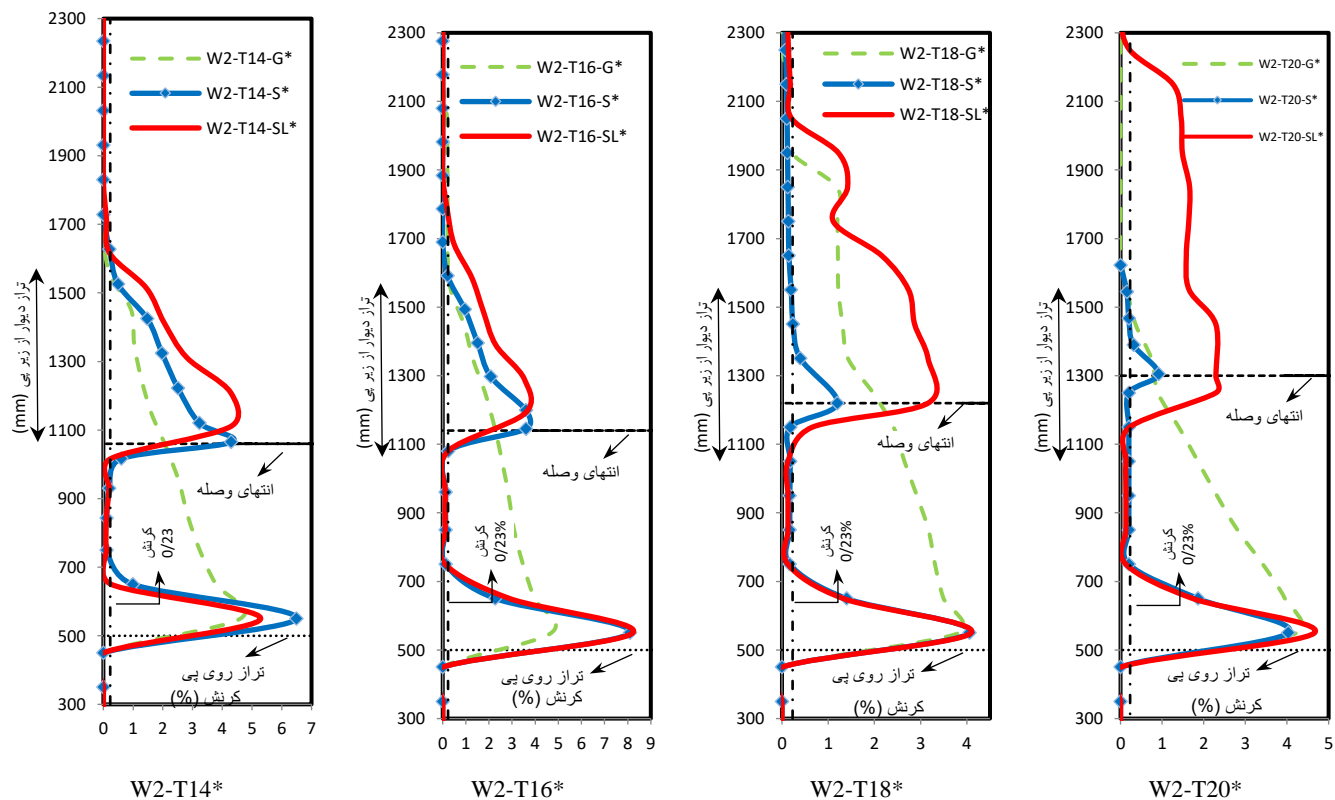
در شکل (۲۱) کرنش میلگرد در دورترین وجه کششی المان مرزی نشان داده شده است. خطی به موازات محور عمودی نمودار در کرنش $\epsilon = \frac{F_y}{E}$ به صورت خط چین جهت نشان دادن طول مفاصل پلاستیک رسم شده است. خطوط افقی داخل نمودار از پایین به بالا به ترتیب نشانگر سطح روی فنداسیون و انتهای وصله پوششی می باشند. با توجه به بخش نتایج شکل پذیری ملاحظه گردید در دیوار های با میلگرد برشی کم غلاف گذاری نتوانست کاهش شکل پذیری ناشی از وصله را بهبود بخشد. ولی با تحلیل شکل (۲۱) ملاحظه می گردد غلاف گذاری تاثیر قابل توجهی بر افزایش میزان کرنش میلگرد طولی دارد. در دیوارهای با میلگرد نمره ۱۸ و ۲۰ در گروه وصله دار و گروه وصله و غلاف دار، کرنش میلگرد ناشی از تاثیر غلاف به ترتیب با افزایش ۱/۵ و ۲/۲ برابری به ۲٪ و ۱/۸٪ رسیده است. طول مفصل پلاستیک نیز با افزایش به ترتیب ۱/۲ و ۱/۶ برابری به ۶۰۰ میلیمتر و ۴۰۰ میلیمتر افزایش پیدا کرده است. در گروه های دیوار با وصله و گروه دیوار با وصله و غلاف بیشترین و کمترین طول مفصل پلاستیک به ترتیب مربوط به دیوارهای با میلگرد قطر ۱۴ و ۲۰ میلیمتر می باشند. بیشترین تاثیر در میزان کرنش میلگرد مربوط به دیوار با میلگرد قطر ۲۰ میلیمتر می باشد. بهترین عملکرد به لحاظ کرنش و طول مفصل پلاستیک مربوط به دیوار با میلگرد قطر ۱۴ میلیمتر می باشد.

۴-۹) کرنش میلگرد دیوار های با میلگرد برشی $pv=0/784\%$

با بررسی شکل (۲۲) میتوان دریافت در دیوارهای گروه با میلگرد سراسری (بدون وصله پوششی) کرنش میلگرد در دورترین وجه کششی المان مرزی با افزایش قطر میلگرد کرنش تمایل به لوکالیزه شدن^{۲۱} دارد. در دیوارهای گروه با وصله پوششی با افزایش قطر میلگرد در محل انتهای وصله میزان کرنش و طول مفصل پلاستیک کمتر شده است. طوری که میلگرد های با قطر ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ میلیمتر به ترتیب کرنش ۴/۳٪، ۳/۶٪، ۱/۲٪ و ۰/۹٪ را تجربه کرده اند. و در این دیوارها مفاصل پلاستیک با طول های به ترتیب ۴۴۵، ۳۵۰ و ۲۵۰ میلیمتر تشکیل شده است، که این رفتار نا مطلوب با افزایش قطر میلگرد، نشان دهنده تاثیر قطر میلگرد در مقاومت پیوند و لغزش میلگرد می باشد. در این گروه، دیوارهای با قطر میلگرد ۱۴ و ۱۶ میلیمتر به علت داشتن مقاومت پیوند بیشتر، میلگرد ها لغزش نکرده و مفصل پلاستیک در این دیوارها در محل انتهای وصله پوششی تشکیل شده که منجر به تامین تغییر مکان های مورد انتظار گردیده است. ولی در همین گروه، دیوارهای با میلگرد قطر ۱۸ و ۲۰ میلیمتر به علت داشتن مقاومت پیوند کمتر و لغزش میلگرد، مفاصل پلاستیک تشکیل شده به ترتیب ۵۰٪ و ۳۷٪ طول مفصل پلاستیک دیوار با میلگرد قطر ۱۴ میلیمتر می باشند. استفاده از روش غلاف گذاری در دیوار های با قطر میلگرد ۱۴ و ۱۶ میلیمتر تاثیر چندانی بر افزایش شکل پذیری این دیوار ها نداشته ولی توانسته است انرژی نسبتا بیشتری را جذب کند.



شکل (۲۱): توزیع کرنش میلگرد طولی در دورترین وجه کششی دیوار ($p_v=0/392\%$)



شکل (۲۲): توزیع کرنش میلگرد طولی در دورترین وجه کششی دیوار ($p_v=0/784\%$)

در دیوارهای با میلگرد قطر ۱۸ و ۲۰ میلیمتر غلاف‌گذاری توانسته است طول مفاصل پلاستیک را به ترتیب با افزایش ۲/۷ و ۴/۴ برابری به ۹۵۰ و ۱۱۰۰ میلیمتر برساند.

در دیوارهای W2-T18-SL* و W2-T20-SL* غلاف‌گذاری باعث نفوذ کرنش به محدوده وصله پوششی گردیده است که در سایر مدل‌ها این اتفاق نیفتاده است. در گروه دیوارهای غلاف‌گذاری شده با افزایش قطر میلگرد طول مفصل پلاستیک افزایش یافته است و بیشترین طول مفصل پلاستیک مربوط به دیوار با میلگرد با قطر ۲۰ میلیمتر می‌باشد. مفصل پلاستیک در دیوارهای گروه وصله دار و گروه غلاف‌گذاری شده از روی فنداسیون به صورت محلی ۳۰۰ میلیمتر بوده و پس از آن گسترش مفصل پلاستیک از محل انتهایی وصله شروع شده و در بهترین حالت در دیوار W2-T20-SL* به طول ۳۳٪ ارتفاع دیوار ادامه پیدا کرده است.

در گروه دیوارهای دارای غلاف در مقایسه حداکثر کرنش‌های میلگرد در دورترین تار کششی با دیوارهای گروه وصله دار نتیجه شد که در دیوارهای مذکور با میلگرد قطر ۱۴ و ۱۶ این کرنش‌ها تقریباً یکسان و ۲/۵٪ بود، ولی در دیوارهای با میلگرد نمره ۱۸ و ۲۰ در گروه دیوارهای غلاف‌دار نسبت به دیوارهای گروه وصله‌دار حداکثر کرنش‌ها با افزایش حدوداً ۲/۵ برابری به ترتیب به ۳/۲٪ و ۲/۳٪ ارتقا پیدا کردند که نشان دهنده عملکرد مطلوب غلاف در میلگرد های قطر ۱۸ و ۲۰ میلیمتر می‌باشد.

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق تعداد ۲۴ مدل دیوار برشی بتن مسلح با نسبت ابعادی یکسان و درصد میلگرد طولی یکسان با میلگردهای عرضی متفاوت که عمده تفاوت دیوارها در قطر میلگرد، عدم وجود وصله پوششی (میلگرد سراسری)، وجود وصله پوششی، و وجود وصله پوششی به همراه غلاف می‌باشند مورد بررسی قرار گرفتند. دیوارها تحت بار فشار محوری عمودی 375 KN و نیروی افقی کنترل بار و بار جابجایی افقی چرخه ای استاتیکی قرار گرفتند. برای ارزیابی عملکرد دیوارها منحنی‌های هیستریزیس، ظرفیت باربری، استهلاک انرژی، مدهای شکست، گسترش ترک‌ها و شکل پذیری مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل گردید.

۱- در گروه دیوارهای با میلگرد برشی زیاد با میلگرد های قطر ۱۴ و ۱۶ میلیمتر که با توجه به روابط تنش-لغزش الیگوسن دارای مقاومت پیوند بیشتری هستند، لغزش این میلگردها مشاهده نگردید و دیوار توانست تغییر شکل‌های مورد انتظار را تامین کند. در صورتی که میلگرد های نمره ۱۸ و ۲۰ دارای مقاومت پیوند کمتری بوده و دچار لغزش گردیده و باعث کاهش شکل پذیری و استهلاک انرژی دیوار شدند. در دیوارهای با میلگرد برشی کم به علت نزدیک بودن این مقدار به میلگرد برشی مینیمم استفاده از روش غلاف‌گذاری برای افزایش شکل پذیری موثر نبود.

۲- در دیوارهای با میلگرد برشی زیاد غلاف‌گذاری در میلگرد های طولی با میلگرد قطر ۱۸ و ۲۰ باعث افزایش به ترتیب شکل پذیری و استهلاک انرژی به میزان ۵۲٪ و ۴۴٪ شده و در دیوارهای با میلگرد نمره ۱۴ و ۱۶ تاثیری نداشت. در دیوارهای با میلگرد برشی کم غلاف نتوانست کاهش استهلاک انرژی ناشی از لغزش را افزایش دهد. میزان استهلاک انرژی در دیوارهای گروه وصله دار و گروه وصله و غلاف‌دار برابر شد. در دیوارهای با میلگرد قطر ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰ میلیمتر استهلاک انرژی به ترتیب ۵۹٪، ۵۶٪، ۲۸٪ و ۴۶٪ میزان استهلاک انرژی دیوار با میلگرد سراسری هم قطر خودشان (دیوار مرجع) شد.

۳- در دیوارهای با میلگرد برشی زیاد در مقایسه حداکثر کرنش‌های میلگرد در دورترین تار کششی در دیوارهای گروه وصله‌دار و گروه وصله و غلاف‌دار نتیجه شد که در دیوارهای مذکور با میلگرد نمره ۱۴ و ۱۶ این کرنش‌ها تقریباً یکسان و ۲/۵٪ بود، ولی در دیوارهای با نمره ۱۸ و ۲۰ در گروه دیوارهای با وصله و غلاف نسبت به دیوارهای گروه وصله‌دار حداکثر کرنش‌ها با افزایش حدوداً ۲/۵ برابری به ترتیب به ۳/۲٪ و ۲/۳٪ ارتقا پیدا کردند که نشان دهنده عملکرد مطلوب غلاف در میلگردهای قطر ۱۸ و ۲۰ می‌باشد.

۴- وجود غلاف در تمامی دیوارهای با میلگرد برشی زیاد 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- 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.
- ۶- کاهش میلگرد برشی منجر به کاهش کرنش میلگرد طولی شد. طوری که در دیوارهای با میلگرد برشی کم در دورترین وجه کششی مقدار کرنش میلگرد طولی ۲/۵٪ شد. این مقدار در دیوارهای مشابه با میلگرد برشی زیاد به ۸/۵٪ رسید.
- ۷- در دیوارهای با میلگرد برشی کم علیرغم اینکه غلاف گذاری نتوانست استهلاک انرژی را افزایش دهد، ولی طول مفصل پلاستیک در دورترین وجه کششی دیوارهای با میلگرد قطر ۱۸ و ۲۰ میلیمتر را نسبت به طول مفصل پلاستیک در حالت وصله دار را ۳۰٪ افزایش داد.
- ۸- در دیوارهای با میلگرد برشی کم افزایش طول مفصل پلاستیک در دیوارهای با میلگرد قطر ۱۸ و ۲۰ میلیمتر باعث شد ترکها به سمت زیر محل وصله نیز گسترش پیدا کنند، ولی در سایر دیوارها ترکها به سمت بالای دیوار گسترش پیدا کردند. ترکهای با بیشترین عرض در محل انتهای وصله همپوشانی ظاهر گردیدند. در دیوارهای با میلگرد برشی زیاد ترکها به سمت زیر محل وصله گسترش پیدا کردند.
- ۹- با توجه به یکسان بودن درصد میلگردهای طولی، در تمامی دیوارها ظرفیت باربری تمامی دیوارها تقریباً یکسان بوده و قطر میلگرد در ظرفیت باربری تاثیری نداشت.

مراجع

- [1] Parsafar S, Vahid S, Tosee R. (2021). Dynamic Behavior of RC Wall with Replaceable Connections Under Explosion Load Effect ARTICLE INFO ABSTRACT. *Journal of Structural and Construction Engineering* 8:170–192. <https://doi.org/10.22065/jsce.2021.236934.2176>
- [2] Kheyroddin A, Tarighi P, Pachideh G, Hashemi S. (2020). Experimental Study of Mechanical Splices of Tensile Reinforced Concrete Beams Under Bending. *Sharif Journal of Civil Engineering* 2:107-117. DOI:10.24200/J30.2020.54320.2630
- [3] Yousefi F, Oskouei A, Maadani S. (2017). Comparison of Ductility in the Shear Walls Reinforced with GFRP and Steel Rebars. *Journal of Structural and Construction Engineering* 5:188–199. <https://doi.org/10.22065/JSCE.2017.74841.1059>
- [4] Campione G, Cucchiara C, Mendola L la, Papia M. (2004). Experimental Investigation on local Bond-Slip Behaviour in Lightweight Fiber Reinforced Concrete Under Cyclic Actions. *The World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, B.C., Canada. Paper No. 2087
- [5] Desnerck P, Lees JM, Morley CT (2015). Bond behaviour of reinforcing bars in cracked concrete. *Constr Build Mater* 94:126–136. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.043>
- [6] Wallace JW, Massone LM, Bonelli P, et al (2012). Damage and implications for seismic design of RC structural wall buildings. *Earthquake Spectra*. 28(1_suppl1): 281. <https://doi.org/10.1193/1.4000047>
- [7] Hong S, Park SK. (2012). Uniaxial bond stress-slip relationship of reinforcing bars in concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*. Volume 2012, Article ID 328570, 12 pages <https://doi.org/10.1155/2012/328570>
- [8] Murray JA, Hecht E, Sasani M (2016) Modeling Bar Slip in Nonductile Reinforced Concrete Columns. *Journal of Structural Engineering*. Volume 142, Issue 10. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0001551](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0001551)
- [9] Wu Y-F, Zhao X-M (2013) Unified Bond Stress–Slip Model for Reinforced Concrete. *Journal of Structural Engineering*. 139:1951–1962. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0000747](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0000747)
- [10] Bao Y, Lew HS, Sadek F, Main J A. (2013). Simple Means for Reducing the Risk of Progressive Collapse. *ACI Concrete International*. 35(12):33-38.
- [11] Elsayed WM, Abdel Moaty MAN, Issa ME (2016) Effect of reinforcing steel debonding on RC frame performance in resisting progressive collapse. *HBRC Journal* 12:242–254. <https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2015.02.005>
- [12] Shimazaki K. (2002). De-Bonded Diagonally Reinforced Beam for Good Repairability. *12th European Conference on Earthquake Engineering*. Paper 258. DOI:10.3130/aijs.67.83_2
- [13] Ibrahim AI, Wu G, Sun Z, Cui H (2017). Cyclic behavior of concrete columns reinforced with partially unbonded hybrid. *Eng Struct* 131:311–323. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.11.002>

- [14] Hussien OF, Elafandy THK, Abdelrahman AA, et al (2012). Behavior of bonded and unbonded prestressed normal and high strength concrete beams. *HBRC Journal* 8:239–251. <https://doi.org/10.1016/j.hbrcej.2012.10.008>
- [15] Mousa MI (2016) Effect of bond loss of tension reinforcement on the flexural behaviour of reinforced concrete beams. *HBRC Journal* 12:235–241. <https://doi.org/10.1016/j.hbrcej.2015.01.003>
- [16] Guoshan X, Zhen W, Bin W. (2017). Seismic performance of precast shear wall with sleeves connection based on experimental and numerical studies. *Engineering Structures*. 150:346-358. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.06.026>
- [17] Ekkachai Y, Pongsak W, Panumas S, Kaffayatullah K. (2023). Cyclic Behavior of Different Connections in Precast Concrete Shear Walls: Experimental and Analytical Investigations. *Buildings*. 13(6):1433. <https://doi.org/10.3390/buildings13061433>
- [18] Min W, Xiang L, Hongtao L. (2020). Seismic performance of precast short-leg shear wall using a grouting sleeve connection. *Engineering Structures*. 208:1-15. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110338>
- [19] P. S. Wong, F.J. Vecchio, H. Tromeels (2013). Vector2 & Formworks user's manual, second edition.
- [20] American Concrete Institute. (2019). *318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*.
- [21] Mahrenholtz C, Eligehausen R. (2014). Numerical Simulation of Column to Foundation Connections With Reduced Anchorage Lengths Loaded Monotonically and Cyclically. *Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering Frontiers of Earthquake Engineering*. Anchorage, Alaska.
- [22] China Architecture & Building Press. (2015). *JGJ/T101—2015. Specification for seismic test of buildings*. Beijing.
- [23] 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. *Eng Struct* 189:396–410. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.03.069>
- [24] Eligehausen R, El-qchausen R, Popov IEP, Bertero V v. (1982). Local Bond stress slip relationship of deformed bars under generalized excitations.