



بسم تعالی

کواهی ارائه مقاله



دانشگاه یزد

بدین وسیله کواهی می‌گردد:

خانم فاطمه علی اکبری در **ششمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین المللی مصالح و سازه های نوین در مهندسی عمران** که در تاریخ ۱۹ الی ۲۰ مهرماه ۱۳۹۶ در دانشکده

مهندسی عمران دانشگاه یزد با مجوز شماره ۱۳۶۱۴۷/۱۶ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری جمهوری اسلامی ایران و کد اختصاصی ۹۲۳۰۲-۹۶۱۷۰ پایگاه استنادی

علوم جهان اسلام (ISC)، برگزار گردید، شرکت نموده و مقاله با مشخصات زیر ارائه داده اند.

عنوان مقاله: ارائه مدل ساده شده جهت مدلسازی دیوارهای برشی فولادی سیاردار

نویسندگان: فاطمه علی اکبری و دکتر هاشم شیرینمندار

دکتر رضامرشد

دبیر کنفرانس



دکتر بهروز احمدی زندوشن

دبیر علمی کنفرانس





ارائه مدل ساده شده جهت مدلسازی دیوارهای برشی فولادی شیاردار

فاطمه علی اکبری^{۱*}، هاشم شریعتمدار^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه فردوسی مشهد، fateme.aliakbari@mail.um.ac.ir

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، shariatmadar@um.ac.ir

چکیده:

دیوارهای برشی یکی از سیستم‌های مناسبی هستند که به رفتار مناسب سازه در مقابله با بارهای جانبی کمک شایانی می‌کنند. از بین دیوارهای برشی مختلفی که پیشنهاد شده، دیوارهای برشی فولادی در دو نوع سخت شده و بدون تقویت به علت وزن پایین، مسائل اجرایی و رفتار مناسب‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند. انواع سخت شده از نظر عملکرد لرزه‌ای و نیز مسائل بهره‌برداری مناسب‌تر می‌باشند ولی به دلیل وجود سخت‌کننده‌های متعدد و جزئیات اجرایی فراوان باید وقت و هزینه زیادی برای ساخت آنها صرف گردد. از گزینه‌های دیگر می‌توان به استفاده از ورق‌های فولادی دارای شیارداری عمودی پرداخت. در واقع با ایجاد شکاف‌هایی در ورق فولادی، ورق به یک سری نوارهای عمودی موازی هم تبدیل شده که هر یک از این نوارها مستقل از هم عمل کرده و انرژی ورودی را با ایجاد مفاصل پلاستیک در انتهای خود مستهلک می‌کنند. با توجه به مزیت‌های فراوان دیوارهای برشی فولادی شیاردار نیاز به شناخت بیشتر این عضو باربر جانبی ضرورت پیدا می‌کند، اما مدلسازی و تحلیل این سیستم با المان‌های صفحه‌ای در نرم‌افزارهای اجزا محدود حجم بالا جهت ذخیره‌سازی و همچنین زمان زیاد جهت انواع تحلیل را در پی خواهد داشت. در نتیجه در این مقاله سعی شده مدلی ساده شده از این سیستم مقاوم در برابر بار جانبی با استفاده از المان‌های beam در نرم‌افزار ABAQUS ارائه گردد تا جزئیات رفتاری دیوار در آن به خوبی لحاظ گردد اما حجم و زمان تحلیل تا حد امکان کاهش یابد. مدل ارائه شده می‌تواند کمک شایانی در جهت شناخت هرچه بیشتر این نوع پانل فولادی، امکان بکارگیری آن در انواع سازه‌ها و همچنین امکان انجام انواع تحلیل روی آنها را در اختیار مهندسين سازه قرار دهد.

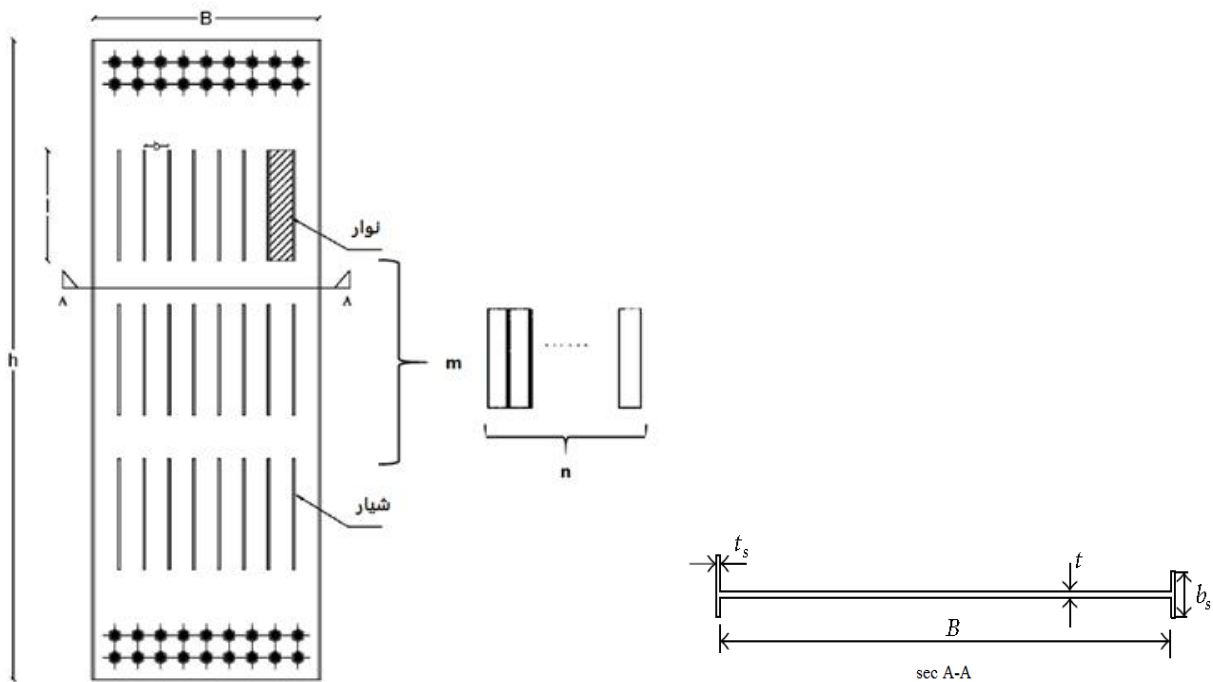
کلمات کلیدی: دیوار برشی فولادی، شیاردار، مدل ساده شده

۱- مقدمه

از سال ۱۹۷۰ از دیوارهای برشی سخت شده در ژاپن در ساخت سازه‌های جدید و در ایالات متحده برای بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و ساختمان‌های جدید استفاده گردید. دیوارهای برشی فولادی سخت نشده نیز در سال‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ در ایالات متحده و کانادا مورد استفاده قرار گرفت [۱]. با این حال هریک از دیوارهای فولادی سخت شده و سخت نشده دارای یک سری معایبی هستند.

با توجه به اهمیت و عملکرد مناسبی که دیوارهای فولادی می‌توانند از خود نشان دهند محققین و طراحان سازه مدل‌های گوناگونی برای دیوار را پیشنهاد دادند. از جمله آن‌ها می‌توان به دیوارهای فولادی با بازشوهای مستطیلی سخت شده [۲]، دیوارهای برشی فولادی کمانش‌تاب^۱ [۳]، دیوارهای فولادی با شیارهای عمودی [۴]، دیوارهای فولادی دارای سوراخ‌های دایره‌ای [۵، ۶] اشاره کرد.

پیشنهاد جدیدی که طی دهه‌های اخیر نظر بسیاری از محققان را به خود جلب کرده، ایجاد شیارهایی همانند شکل ۱ در ورق دیوار فولادی است. نتایج تحقیقات و آزمایشات صورت گرفته نشان می‌دهد این دیوارها دارای رفتار شکل‌پذیر و چرخه‌های هیستریزس پایداری هستند. سختی و مقاومت این دیوارها می‌تواند مستقل از یکدیگر و با تغییر در طراحی شیارها کنترل شود (به عنوان مثال تغییر در طول شیار، تعداد ردیف‌های شیار و فاصله بین شیارها).

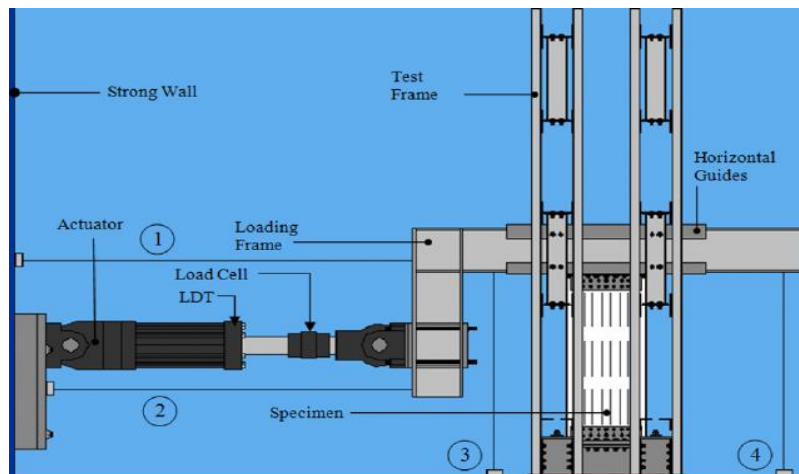


شکل ۱: دیوار برشی فولادی شیاردار

۲- معرفی مدل استفاده شده جهت صحت سنجی مدل‌سازی عددی دیوار برشی فولادی

در این مقاله جهت صحت سنجی مدل‌سازی از مدل آزمایشگاهی و عددی کرتس و لیو استفاده شده است [۷، ۸]. آنها در یک کار تحقیقاتی در زمینه دیوارهای برشی فولادی شیاردار به بررسی دو گروه نمونه آزمایشگاهی پرداختند که این دو گروه شامل دیوارهای برشی تنها و دیوارهای درون قاب بودند. آنها دیوار برشی را در مقیاس ۱/۳ ساخته و مورد آزمایش قرار دادند. ارتفاع کلی دیوار ۱۱۶۸ میلی‌متر، عرض آن ۵۰۰ میلی‌متر و ضخامت آن ۴٫۸ میلی‌متر می‌باشد. همچنین ورق دیوار

دارای سه ردیف شیار بوده که در هر ردیف، شیارها ۸ نوار را بوجود آورده اند. مشخصات هندسی پانل ذکر شده در جدول ۱ آمده است (هر یک از پارامترهای آورده شده در جدول در شکل ۱ معرفی شده‌اند).

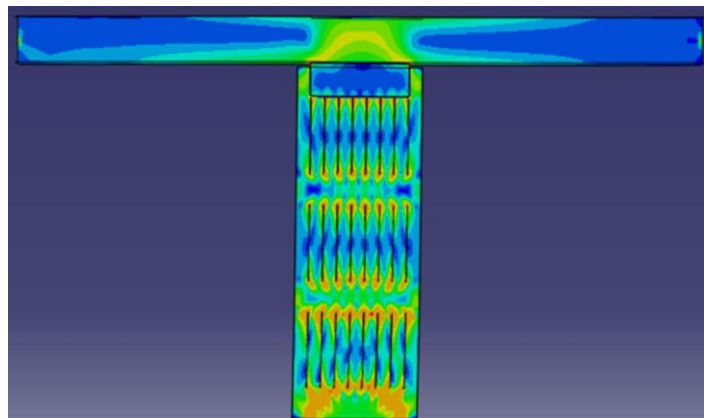


شکل ۲: دیوار برشی فولادی شیاردار استفاده شده جهت صحت سنجی [۷]

جدول ۱: مشخصات هندسی دیوار برشی فولادی شیاردار (به همراه تیر بالا سری) بکارگرفته شده جهت صحت سنجی

B(mm)	h(mm)	l(mm)	b(mm)	t(mm)	t_s (mm)	b_s (mm)	تیر بالا سری
500	1168	254	31	4.8	4.8	50.8	W6X9

کورتس و لیو همچنین به مدلسازی این دیوار با استفاده از المان‌های صفحه‌ای در نرم‌افزار اجزا محدود ABAQUS پرداختند (شکل ۳).



شکل ۳: مدل تحلیلی دیوار برشی فولادی شیاردار به همراه تیر بالاسری در کار کورتس و لیو [۷].

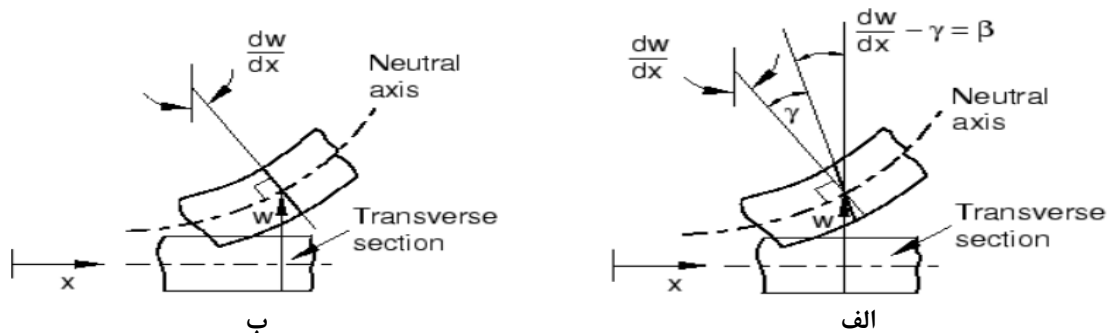
۳- تشریح روند مدلسازی در نرم‌افزار

هندسه مدل مورد نظر متشکل از دیوار فولادی با شیارهای عمودی است. مدلسازی چنین دیواری در تحقیقات صورت گرفته فقط با المان‌های صفحه‌ای shell بوده است. کورتس و لیو در سال ۲۰۱۰ [۷] و لو و همکاران [۹] در سال ۲۰۱۵ برای مدلسازی این دیوارها از المان‌های صفحه‌ای چهارگره‌ای با تابع شکل درجه یک استفاده کردند.

المان‌های پوسته‌ای معمولی دارای درجه آزادی جابجایی گرهی و دورانی می‌باشند. این المان‌ها فقط یک سطح مرجع از جسم را مدل می‌کنند و مقادیر جابجایی‌ها و دوران‌های گرهی فقط در این سطح مرجع محاسبه می‌شود، سپس مقادیر جابجایی در راستای ضخامت با استفاده از تئوری‌های کامپوزیت (تئوری تغییر شکل برشی مرتبه اول یا تئوری کیرشهف) محاسبه می‌شود.

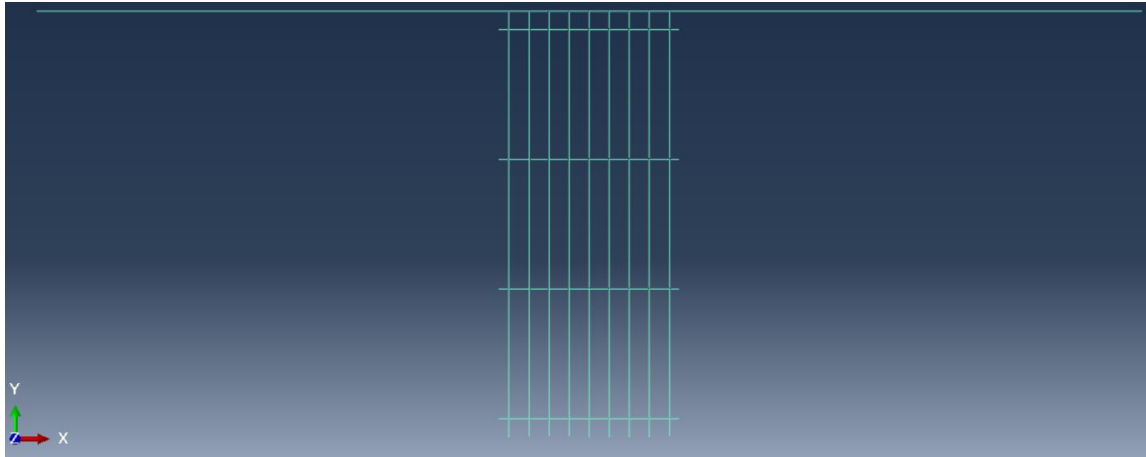
مسئله‌ای که در مدلسازی دقیق دیوار برشی فولادی شیاردار با این المان‌ها وجود دارد، به‌گونه‌ای که نتایج تحلیل مشابه نتایج آزمایشگاهی شود، این است که تعداد المان‌ها به شدت زیاد خواهد بود و تحلیل در نرم‌افزار اجزا محدود برای رسیدن به جواب‌های مناسب و دقیق به شدت زمان‌بر می‌باشد.

المان‌های beam یکی دیگر از المان‌های سازه‌ای معمول قابل استفاده در نرم‌افزار ABAQUS می‌باشند. المان beam المانی است که گره‌های آن در حالت دو بعدی دارای دو درجه آزادی انتقالی و سه درجه آزادی دورانی و در فضا دارای سه درجه آزادی انتقالی و سه درجه آزادی دورانی است. در واقع این المان‌ها، المان‌هایی یک بعدی در فضای سه بعدی یا دو بعدی می‌باشند که سختی آنها بستگی به تغییر فرم محور المان دارد. المان beam دارای مقاومت خمشی، برشی، پیچشی و محوری است. رفتار مقطع عرضی این المان‌ها همانطور که در شکل ۴ آمده، مانند المان‌های صفحه‌ای می‌باشد [۱۰].



شکل ۴: تغییر شکل یافته مقطع عرضی المان‌های تیر (الف) با ضخامت زیاد (ب) با ضخامت کم [۱۰]

در نتیجه در این مقاله برای شبیه‌سازی دیواربرشی فولادی شیاردار که تا کنون با المان shell مدل شده، از المان beam همانند شکل ۵ استفاده شده است.

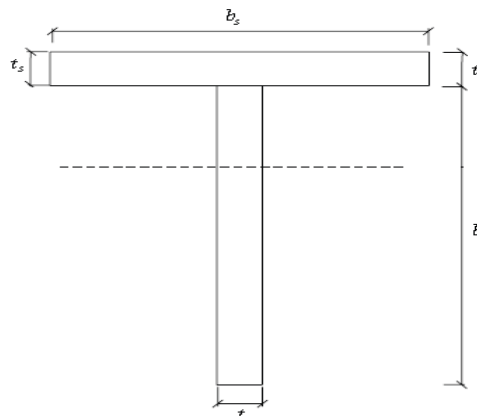


شکل ۵: مدل ساده شده از دیوار برشی فولادی شیاردار به همراه تیر بالاسری

در واقع نوار فولادی میانی بین شیارها به طول l با المان beam که مقطع آن مستطیلی با ابعاد $t \times b$ است، و نوار افقی و عمودی بدون شیار بین ردیف شیارها به ترتیب با المان beam با مقطع مستطیلی به ابعاد $t \times a$ و $t \times b$ جایگزین شده است. پارامترهای b و t در شکل ۱ مشخص گردیده و پارامتر a با رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

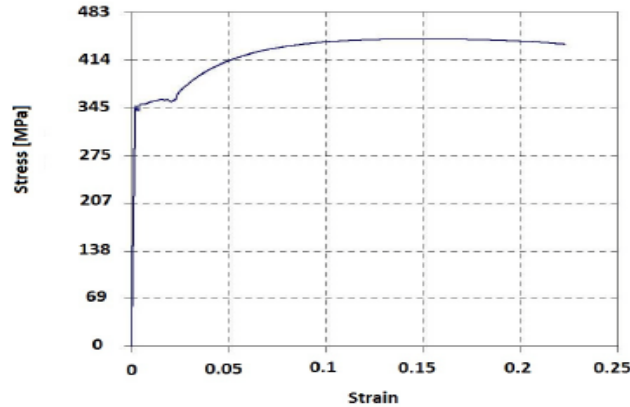
$$a = \frac{h - (m \times l)}{m + 1} \quad (1)$$

دو نوار فولادی انتهایی نیز که در مجاورت سخت‌کننده‌های لبه‌ای قرار دارند توسط المان beam با مقطع T شکل به صورت شکل ۶ مدلسازی شده‌اند (مقدار هر یک از پارامترهای مشخص شده در شکل ۶ در جدول ۱ آمده است).



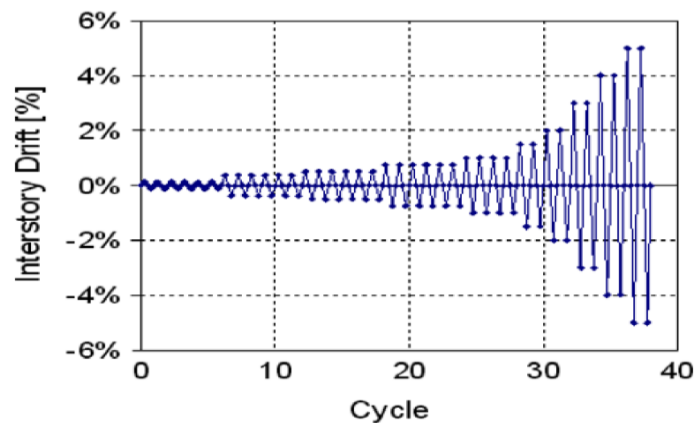
شکل ۶: مقطع المان‌های لبه‌ای

برای تعریف مشخصات ماده بکار گرفته شده در مدلسازی دیواربرشی فولادی شیاردار داده‌های بدست آمده از آزمایش تک محوری بر روی کوپن‌ها که توسط کورتس [۸] ارائه شده، بکار گرفته شده است. در شکل ۷ منحنی تنش- کرنش واقعی حاصل از نتایج کوپن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۷: منحنی تنش- کرنش واقعی، بکار گرفته شده در مدل [۸].

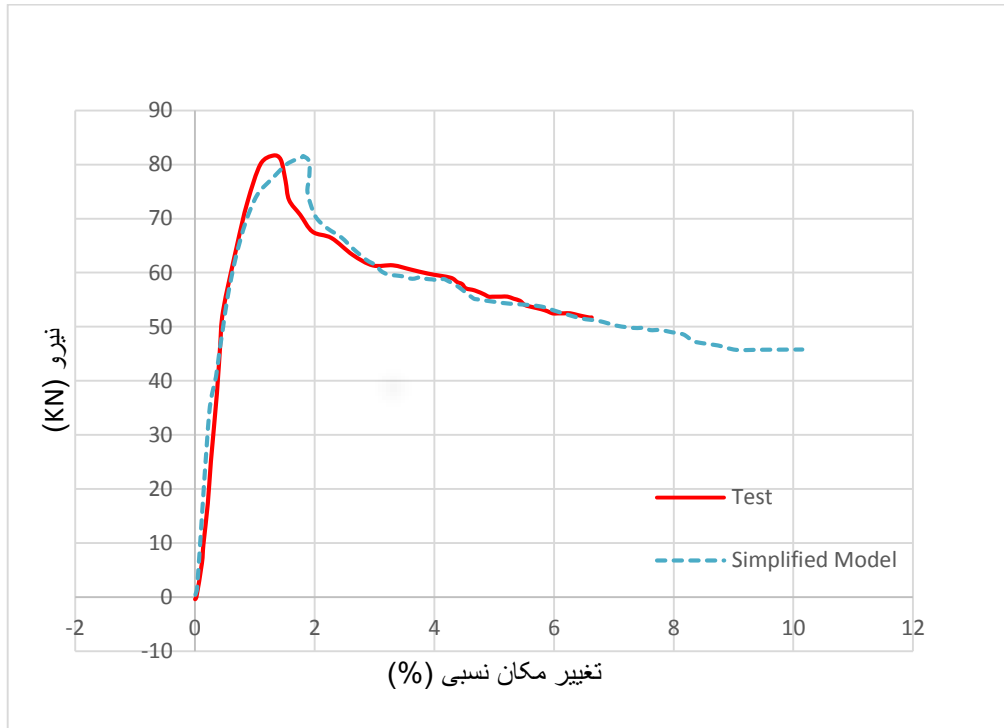
در این مقاله برای مقایسه نتایج حاصل از تحلیل عددی مدل ساده شده با نتایج ارائه شده توسط کورتس و لیو [۷]، از الگوی بارگذاری آنها که در شکل ۸ آمده، استفاده شده است.



شکل ۸: تاریخچه بارگذاری اعمال شده به مدل [۷].

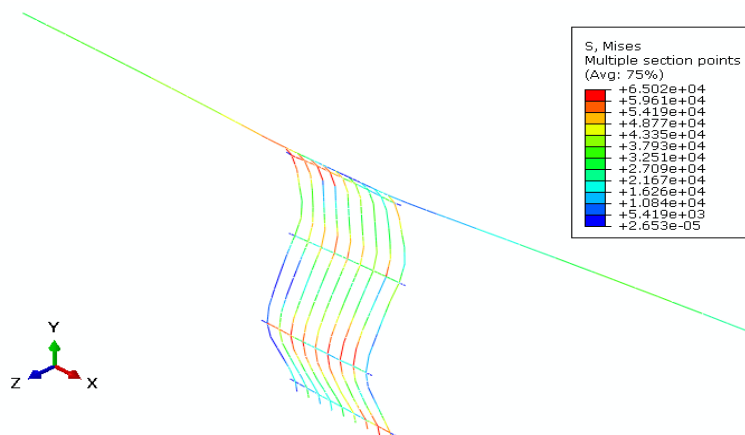
۴- نتایج تحلیل و صحت سنجی آنالیز عددی

پس از انجام مدلسازی با هندسه نشان داده شده در شکل ۵ که مدل ساده شده‌ای از دیوارهای برشی فولادی شیاردار است، منحنی نیرو- تغییر مکان که از پوش منحنی هیستریزیس مربوط به هر مدل تحت بارگذاری چرخه‌ای بدست آمده در شکل ۹ مقایسه شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده نتایج کار آزمایشگاهی و مدلسازی عددی تطابق نزدیکی با یکدیگر دارند.



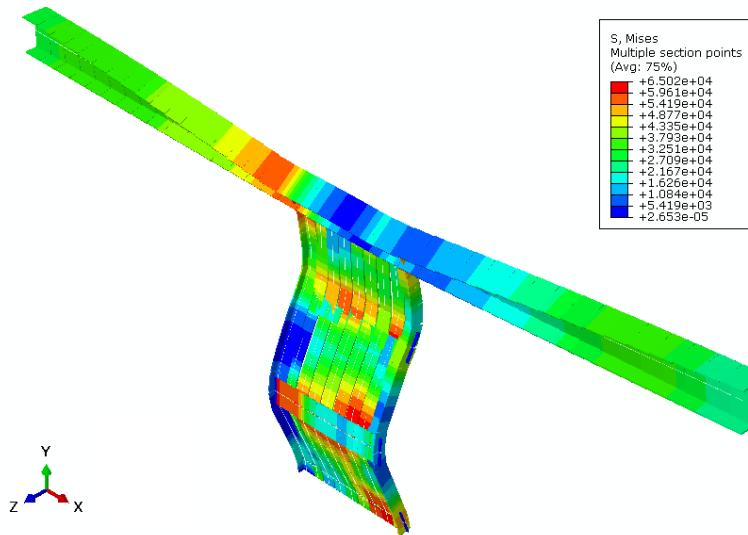
شکل ۹: مقایسه منحنی نیرو- تغییر مکان حاصل از نتایج آزمایشگاهی و مدلسازی عددی

همچنین در شکل ۱۰ توزیع تنش های فون میسز در مدل تغییرشکل یافته در آخرین لحظه از پروتکل جابجایی نشان داده شده است. همانطور که از نحوه عملکرد دیوارهای برشی فولادی شیاردار انتظار می‌رود تنش ها در قسمت انتهایی نوارها بیشترین مقدار خود را داشته و در قسمت های میانی نوار از مقدار تنش کاسته می‌شود.



شکل ۱۰: توزیع تنش در مدل ساده‌شده

شکل ۱۱ نیز همین توزیع را در مدل سه بعدی پروفیل‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: توزیع تنش در مدل ساده شده در نمای سه بعدی پروفیل‌ها

۵- نتیجه گیری

دیوارهای برشی فولادی شیاردار به دلیل عملکرد متفاوت آنها نسبت به سایر دیوارهای برشی در چند دهه اخیر مورد توجه محققان و مهندسان سازه قرار گرفته اند. تحقیقات صورت گرفته تا کنون بیشتر آزمایشگاهی بوده و کمتر به مدلسازی‌های عددی این دیوارها پرداخته شده است. تحقیق حاضر به بررسی مدلسازی عددی این نوع از دیوارها در نرم افزار اجزا محدود ABAQUS با استفاده از المان‌های beam به جای المان‌های صفحه‌ای shell پرداخته و همانطور که نشان داده شد، نتایج این مدلسازی تا حد مناسبی مشابه نتایج به دست آمده از تحقیقات آزمایشگاهی می‌باشد. با توجه به اینکه در المان‌های سیمی شکل مانند المان beam گره‌ها در جهت طولی توزیع می‌شوند بنابراین محاسبات در یک جهت صورت می‌گیرد و کمانش موضعی در مقطع عرضی پروفیل‌ها به صورت دقیقی انجام نمی‌پذیرد. در نتیجه مدل ارائه شده می‌تواند برای درک رفتار کلی سیستم مفید واقع شود.



مراجع:

- [۱] آستانه اصل، ا. رفتار لرزه ای و طراحی دیوارهای برشی فولادی، ترجمه واثقی امیری، جواد، محمدپور نیک بین، ایمان، انتشارات علوم رایانه، ۱۳۸۹.
- [2] Hosseinzadeh, S. A. A., Tehranizadeh, M. Introduction of stiffened large rectangular openings in steel plate shear walls. *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 77, pp. 180–192, 2012.
- [3] Amani, M., Rafeei, B., Alinia, M. M. Shear buckling and ultimate capacity of steel plates coupled with cover panels, *Thin-Walled Structures*, vol. 75, pp. 30–42, 2012.
- [4] Hitaka, T., Matsui, C. Experimental study on steel shearwall with slits, *Journal of Structural Engineering*, vol. 129, no. 5, pp. 586–595, 2003.
- [5] Vian, D., Bruneau, M., Tsai, K. C., Lin, Y.-C. Special perforated steel plate shear walls with reduced beam section anchor beams. I: experimental investigation, *Journal of Structural Engineering*, vol. 135, no. 3, pp. 211–220, 2009.
- [6] Bhowmick, A. K. Seismic behavior of steel plate shear walls with centrally placed circular perforations,” *Thin-Walled Structures*, vol. 75, pp. 30–42, 2014.
- [7] Cortes, G., Liu, J. Experimental evaluation of steel slit panel–frames for seismic resistance, *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 67, pp. 181-191, 2011.
- [8] Cortés, G. Steel slit panel frames for lateral resistance of buildings. Ph.D. dissertation. West Lafayette (Indiana): Department of Civil Engineering, Purdue University; 2009.
- [9] Lu, J.-y., Yan, L.-n., Tang, Y., Wang, H.-h. Study on Seismic Performance of a Stiffened Steel Plate Shear Wall with Slits, *Shock and Vibration*, vol. 2015, 2015.
- [10] Abaqus 6.14 Documentation.