رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN PRINT: 2588-6886 ISSN ONLINE: 2588-7122، دوره سوم، شماره ۱، ۱۳۹۸، صفحه: ۵۷- ۶۹

بررسی رفتار دیوار برشی مرکب دارای ستونهای مدفون

نرگس سدیدی[۱]، مرتضی نقی پور[*۲]

[۱] کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

[*۲] استاد، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران (m-naghi@nit.ac.ir)

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۰/۱۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۲/۱۱)

چکیده

بهسازی و بهبود عملکرد لرزهای سیستمهای سازه ای یکی از مهمترین روشها برای کاهش تلفات احتمالی جانی و مالی ناشی از زلزله می باشد. دیوار برشی مرکب یکی از سیستمهای باربر جانبی است که در آن از ترکیب رفتار مناسب فشاری بتن و کششی آرماتور به همراه مقاومت و شکل پذیری مقطع فولادی به منظور حصول عملکرد بهتر و اقتصادی تر نسبت به سازه های رایج صرفاً فولادی یا بتنی مسلح استفاده می شود. در این تحقیق به معرفی و شناخت دیوار برشی مرکب شامل مقاطع فولادی در ناحیه مرزی دیوار برشی و مقایسه آن با دیوار برشی مسلح پرداخته شده است و با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود Abaqus، رفتار این نوع سیستم لرزه ای تحت اثر نیروهای ثقلی و جانبی، مبتنی بر رفتار غیرخطی مصالح مورد بررسی قرار می گیرد، در این تحلیل از آنالیز غیرخطی (push over) استفاده شده است. بر اساس نتایج حاصله از این تحقیق وجود مقطع فولادی در دیوار باعث افزایش باربری جانبی و شکل پذیری دیوار می شود.

کلمات کلیدی

دیوار برشی مرکب، ناحیه مرزی، شکل پذیری، ستون مدفون، ظرفیت باربری جانبی.

رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN PRINT: 2588-6886 ISSN ONLINE: 2588-7122، دوره سوم، شماره ۱، ۱۳۹۸، صفحه: ۵۷- ۶۹

Study Behaviour of Composite Shear Wall with Embeded Columns

Narges Sadidi [1], Motreza Naghi Pour [2]*

[1] M.Sc. of Structural Engineering, Babol Noshirvani University of Technilogy, Babol, Iran

[2] Professor, Babol Noshirvani University of Technilogy, Babol, Iran (m-naghi@nit.ac.ir)*

(Date of received: 07/01/2019, Date of accepted: 01/05/2019)

ABSTRACT

Improvement and optimization of seismic performance of structural systems is one of the principal methods for decreasing probability damages due to earthquakes. Composite shear wall is one of lateral load bearing systems. In this system, compressive strength of concrete and tensile behavior of bars is composited for achievement suitable performance in terms of stabilization and economic performance in usual steel and reinforced concrete structures. In this research, composite shear wall with embedded steel columns in boundary sides is introduced and comprised with normal reinforced shear wall. In present study, seismic behavior of system under gravitational and lateral loading with assuming nonlinear behavior of material by utilization Abaqus software according to finite element theory analyzed. It should be noted, in analysis process pushover method was applied. According to obtained results can be explained that embedded steel column cause increase bearing capacity and ductility in shear wall.

Keywords:

Composite shear wall, Boundary sides, Ductility, Embedded column, Lateral bearing capacity.

۱- مقدمه

اهمیت اثر نیروی جانبی با بالا رفتن ارتفاع ساختمان با سرعت زیادی افزایش مییابد. در ارتفاع معینی تغییر مکان جانبی ساختمان چنان زیاد میشود که ملاحظات سختی کنترل کننده طرح میگردند تا اینکه مقاومت مصالح سازهای .درجه سختی اساساً بستگی به نوع سیستم سازه دارد. بعلاوه بازده هر سیستم خاصی مستقیماً با مقدار مصالح مصرف شده ارتباط دارد. بنابراین از بهینه کردن سازه برای شرایط فضایی معینی باید با حداقل وزن، حداکثر سختی حاصل شود. زلزله یکی از بزرگترین خطرات طبیعی برای انسان میباشد، نه تنها به لحاظ جانی بلکه از لحاظ خسارت مادی و صدمات اجتماعی، روانی و اقتصادی نیز زلزلهها بطور غیرمستقیم میتوانند خساراتی به سازههای مهندسی و تاسیسات وارد آورند که عمدتاً به علت تغییر مکان و جابجایی قسمتهایی از سطح زمین فروریزی و لغزش تپه ها، روانگونگی، امواج دریا و آتش می باشند. از آنجا که کشور ما روی کمربند لرزه آلپ-هیمالیا قرار دارد یکی از فعالترین مناطق لرزهای جهان است بطوریکه در هفتاد سال گذشته بطور متوسط ۲۰ زلزله در سال برخی مناطق کشور را لرزانده و بعضاً تلفات و خسارات عظیمی به بار آورده است. به لحاظ احتمال وقوع قطعی زلزلهها در آینده، دانشگاهها رسالت تربیت نیروی متخصص جهت مقابله با این پدیده طبیعی را به عهده دارند و هدف اصلی به حداقل رساندن ضایعات مالی و جانی با در نظر گرفتن عوامل اجتماعی، اقتصادی و روانی مسأله میباشد. دیوارهای برشی یکی از رایجترین سیستمهای مقاوم در برابر بارهای جانبی در سازههای بلند می باشد. در دیوارهای بتنی افزایش ضخامت بتن و درصد میلگردها در طبقات پایین باعث دشواری محاسبات و مسائل اجرایی خواهد شد. در آیین نامه های معتبر دنیا دو نوع دیوار برشی مرکب مطرح می باشد که عبارتند از:

الف- دیوار برشی فولادی دارای پوشش بتنی

ب- دیوار برشی مسلح بتنی با عضوهای مرزی فولادی

در دیوارهای برشی فولادی کمانش صفحه جان دیوار از مشکلات اصلی میباشد. به همین جهت استفاده از دیوارهای برشی مرکب که ترکیبی از دیوار برشی بتنی و ستون فولادی می باشد مطرح شده است.

۲- ستون‌های فولادی در دیوارهای برشی

ستونهای فولادی به شکلهای مختلف در دیوارهای برشی استفاده میشوند. در ادامه دو روش متداول اجرای ستونهای فولادی در دیوار برشی شرح داده میشود:

۲-۱- ستونهای غیر مدفون در دیوار برشی

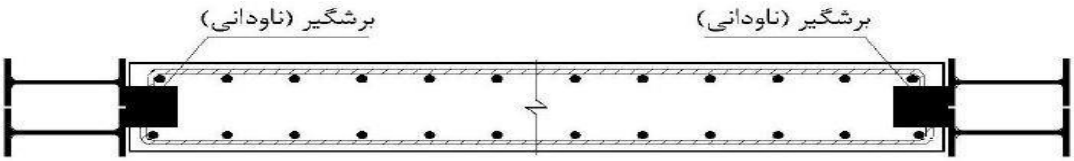
در این روش ستونها خارج از دیوار برشی اجرا میشود که توسط برشگیرها به دیوار برشی اتصال مییابند و یا با ایجاد فاصله توسط مواد تراکم پذیر از دیوار برشی جدا میشوند. در طراحی این دیوارها، باید ستونها برای تحمل لنگر خمشی و نیروی محوری، و مقطع دیوار بتن مسلح برای تحمل نیروی برشی طراحی گردد. شکل(۱) نمونهای از اجرای ستون غیرمدفون متصل به دیوار برشی را نشان می دهد. مزیت این دیوارها اجرای ساده آنها میباشد ولی به دلایل زیر در ساختمانهای بلند استفاده از آن پیشنهاد نمیشود:

۱- از آنجا که ستونهای مجاور دیوار باید نیروی محوری و لنگر خمشی وارد بر مقطع دیوار را تحمل کنند و همچنین برای بارهای ویژه کنترل شوند، لذا مقطع ستونها بزرگ و غیر اقتصادی میشوند.

۲- به دلیل نیروی محوری زیاد ناشی از زلزله در ستون، ابعاد صفحه ستون افزایش مییابد.

۳- این نوع دیوار برشی را نمیتوان با نرم افزار طراحی نمود. به سبب اینکه برنامه با فرض خطی بودن کرنش، نیروها را بین دیوار و ستونها به نسبت سختی توزیع می نماید که این فرض صحیح نمی باشد [۱] .

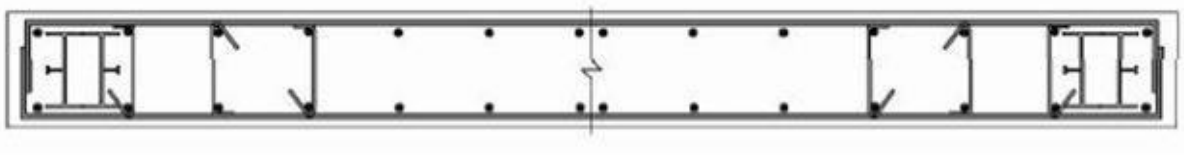
رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN PRINT: 2588-6886 ISSN ONLINE: 2588-7122، دوره سوم، شماره ۱، ۱۳۹۸، صفحه: ۵۷- ۶۹



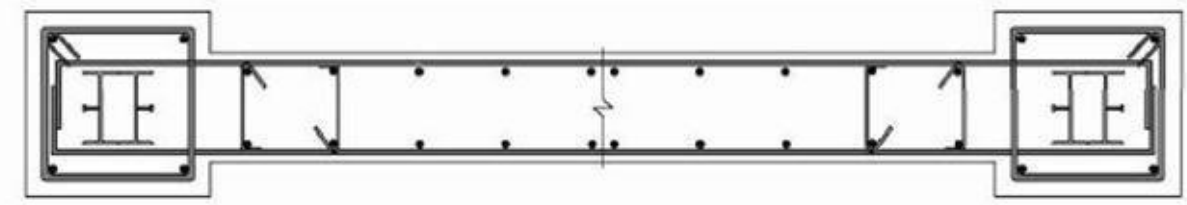
شکل ۱: ستون غیرمدفون در دیوار برشی.

۲-۲- ستونهای مدفون در دیوار برشی

اگر ستون فولادی در دیوار برشی مدفون گردد، میتوان تحلیل را بر اساس مشخصات هندسی مقطع تبدیل یافته انجام داد. بدین معنی که ستون فولادی میتواند معادل آرماتور در دیوار برشی عمل نماید .شکل(۲) نمونه هایی از این دیوار برشی را نشان می دهد. در شکل(۲-الف) دیوار برشی با عرض یکنواخت و در شکل(۲-ب) بعد دیوار در محل ستون بزرگتر انتخاب شده است.



(الف) دیوار با عرض یکنواخت



(ب) دیوار با عرض غیریکنواخت

شکل ۲: دیوار برشی با ستون مدفون.

ستونهای مدفون درون دیوارهای برشی دارای بعد بزرگی نیستند و در اکثر موارد امکان جانمایی آنها درون دیوار برشی با عرض یکنواخت وجود دارد. در طراحی ستون مدفون در دیوار برشی، باید نکات زیر رعایت گردد:

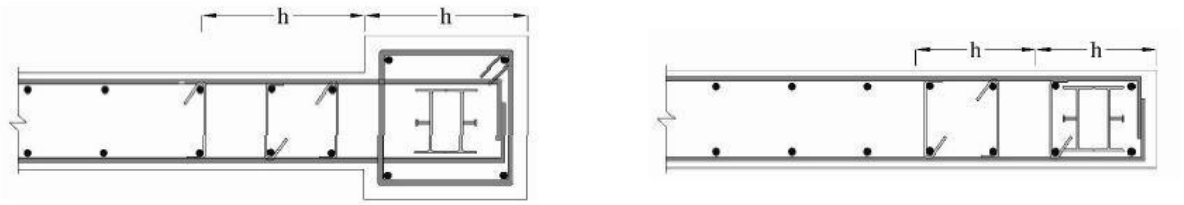
الف- ستون فولادی قرار گرفته در دیوار باید بتواند بارهای مرده به علاوه بار زنده حین اجرا را قبل از گیرش بتن تحمل نماید .

ب- با توجه به اینکه در این روش مقطع ستون کوچک بدست میآید ، باید ابعاد ستون به گونهای انتخاب شود که امکان اجرای اتصال مناسب پلهای وارده به ستون فراهم گردد .

ج- برای انتقال مناسب برش میان دیوار و ستون فولادی، باید برشگیر بکار رود.

رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN PRINT: 2588-6886 ISSN ONLINE: 2588-7122، دوره سوم، شماره ۱ ،۱۳۹۸، صفحه: ۵۷- ۶۹

د-آنجا که احتمال جدایی دیوار از نیمرخ فولادی زیر اثر بارهای لرزهای شدید وجود دارد، در دیوارهای با شکل پذیری متوسط و زیاد ،مطابق شکل ۳ فولاد عرضی اجزاء مرزی باید به اندازه 2h در داخل دیوار ادامه یابد .h بعد المان مرزی در راستای دیوار می‌باشد [۲].



شکل ۳: جزئیات اجرایی فولاد عرضی در اجزاء مرزی.

۳- مدلسازی سیستم در نرم افزار آباکوس (Abaqus)

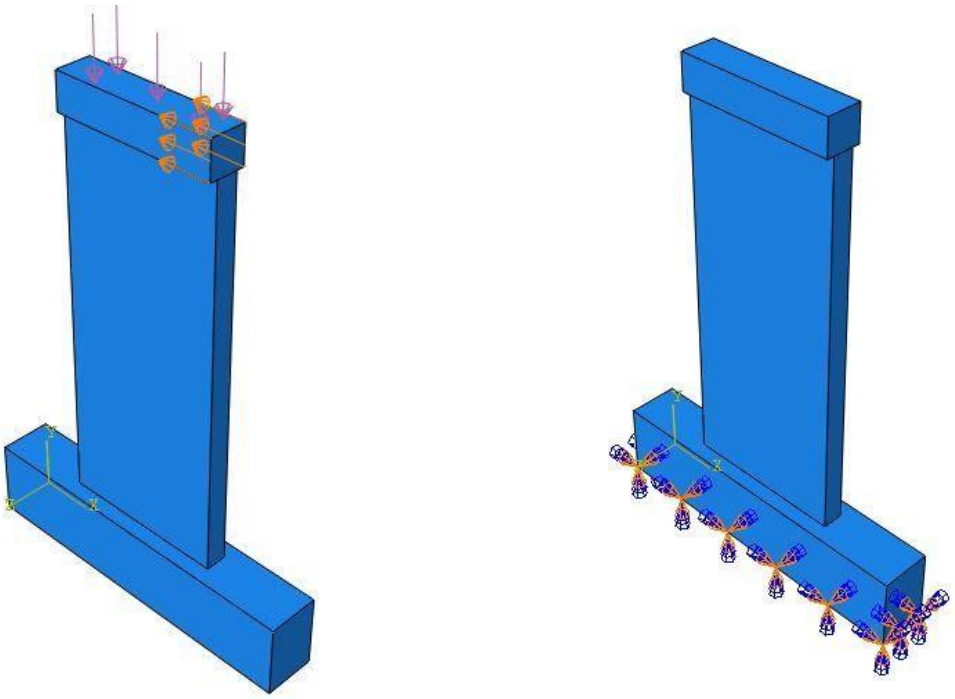
در مقاله حاظر با استفاده از نرم افزار آباکوس که یکی از نرم افزارهای توانمند در زمینه اجزاء محدود بشمار می‌رود دیوار برشی مرکب بتنی با نیمرخ های فولادی مدل سازی شده است. مشخصات مدلها در جدول(۱) آورده شده است:

جدول۱: مشخصات مدلها.

شماره مدل	شکل نیمرخ	مشخصات نیمرخ	سطح مقطع نیمرخ mm^2	ضخامت دیوار mm	ارتفاع دیوار mm
۱	-	-	-	۱۴۰	۲۷۹۰
۲	I-shaped	h100-b_f68 t_w4.5-t_f7.6	۱۴۸۳/۶	۱۴۰	۲۷۹۰
۳	Circular	D88.7-t3.26	۹۰۸	۱۴۰	۲۷۹۰

۳-۱-نحوه بارگذاری

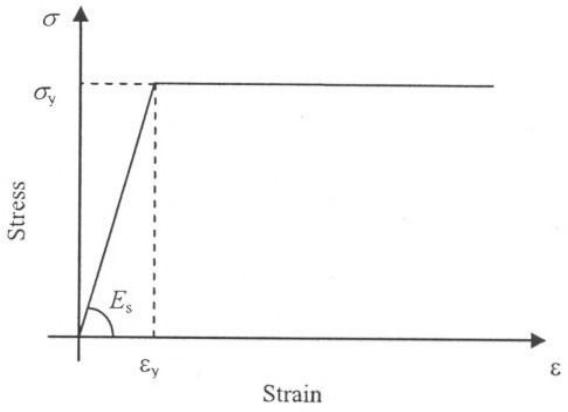
همانطور که در نمایش شماتیک نحوه بارگذاری بر روی دیوار برشی در شکل مشاهده می شود بار ثقلی بر روی دیوار به شکل بار گسترده و به صورت استاتیکی می باشد. بار جانبی نیز به صورت تغییر مکان اعمال می شود. شرایط تکیه گاهی به صورت گیردار با قیود در تمامی جهات می باشد(شکل(۴)) .



شکل ۴: شماتیک بارهای وارده بر دیوار برشی و شرایط مرزی.

۳-۲-مشخصات فولاد در نظر گرفته شده برای فولاد در مدل

منحنی تنش-کرنش فولاد استفاده شده در مدل به صورت الاستو پلاستیک و منحنی دو خطی می‌باشد. به دلیل رفتار مشابه فولاد در کشش و فشار رفتار مصالح یکسان در نظر گرفته شده است [۲]، شکل(۵)، تنش تسلیم فولاد برای میلگردها ۳۳۵ مگاپاسکال و برای نیمرخها ۲۳۵ مگاپاسکال و کرنش پلاستیک اجزاء ۰/۲۵ در نظر گرفته شد.

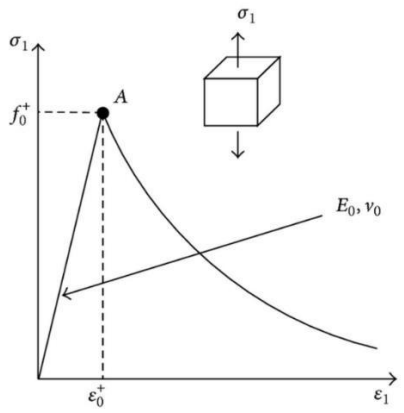


شکل ۵: منحنی تنش کرنش فولاد استفاده شده در مدل.

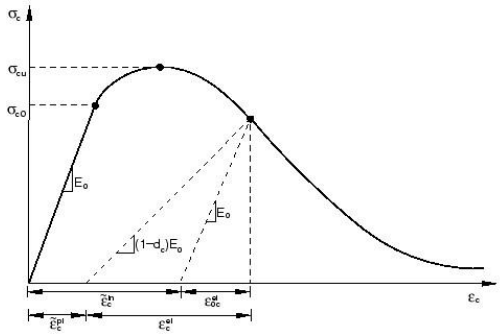
رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN PRINT: 2588-6886 ISSN ONLINE: 2588-7122، دوره سوم، شماره ۱، ۱۳۹۸، صفحه: ۵۷- ۶۹

۳-۳-مشخصات بتن مصرف شده در مدل

مدل آسیب بتن Concrete damage plasticity دو فرض اصلی در مکانیزم گسیختگی در نظر می‌گیرد: ترک خوردگی کششی و ترک خوردگی فشاری این مدل برای مصالحی که تنش تسلیم متفاوتی در کشش و فشار دارند مناسب می باشد. در این مدل ضریب اتساع مصالح بتن ۳۵ و خروج از مرکزیت ۰/۱ و نسبت مقاومت فشاری دو محوری به مقاومت فشاری تک محوری f_{b0}/f_{c0} مساوی ۱/۱۶ فرض شده است[۳]. در این مدل رفتار غیر خطی بتن در کشش و فشار تک محوره شبیه سازی شده است. در ذیل منحنی های تنش-کرنش بتن در کشش و فشار تک محوره آورده شده است[۴]. در اثر کشش تک محوره منحنی تنش-کرنش تا نقطه تنش خرابی به صورت خطی تغییر می کند که این تنش با شروع و گسترش ترکهای ریز در بتن همراه می باشد .پس از عبور از نقطه مذکور، خرابی ها به صورت ترکهای قابل مشاهده در می آیند که به صورت منحنی نرم شوندگی در فضای تنش-کرنش نمایش داده می شود (شکل(۶)). تحت فشار تک محوره پاسخ تا رسیدن به نقطه جاری شدن به صورت الاستیک خواهد بود و رفتار در ناحیه پلاستیک عموماً به صورت منحنی سخت شوندگی بیان می شود. که در نهایت با رسیدن به نقطه تنش نهایی منحنیها به صورت نرم شونده در می آیند (شکل(۷)). این مدل معرفی شده با وجود سادگی نسبی، خصوصیات اصلی بتن را ارضا می‌کند.



شکل ۶: منحنی تنش-کرنش بتن در کشش تک محوره.



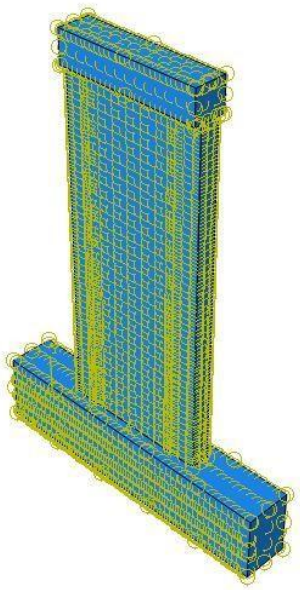
شکل ۷: منحنی تنش-کرنش بتن در فشار تک محوره.

۳-۴- نوع و اجزاء بکار برده شده در مدل

مدل بکار برده شده شامل دیوار برشی و فونداسیون می باشد که از جنس بتن بوده و داخل آن آرماتور طولی و عرضی ۸ و در دو انتهای دیوار در اجزاء مرزی آرماتور طولی ۱۲ بکار برده شده است. همچنین مدل شامل نیمرخ عرضی فولادی مدل شده با Shell-S4R می باشد. دیوار برشی و فونداسیون با المان Solid-C3D8R و میلگردها با المان Truss-T3D2 مدل سازی شده اند.

۳-۵- اثر متقابل اجزاء بر روی هم (Interaction)

کلیه میلگردها و نیمرخ عرضی فولادی با استفاده از قید Embedded region در بتن مدفون می شوند این قید به کاربر این امکان را می دهد که ناحیه ای را به عنوان میزبان و ناحیه ای را به عنوان مدفون تعیین نمایید که در آن ناحیه مدفون در کل یا ناحیه ای از مدل قرار دارد. از این قید برای مدل کردن سازه های بتن آرمه با جزئیات زیاد استفاده می شود. شکل(۸) نمای کلی مدل را با اعمال قید Embedded region نشان می دهد.



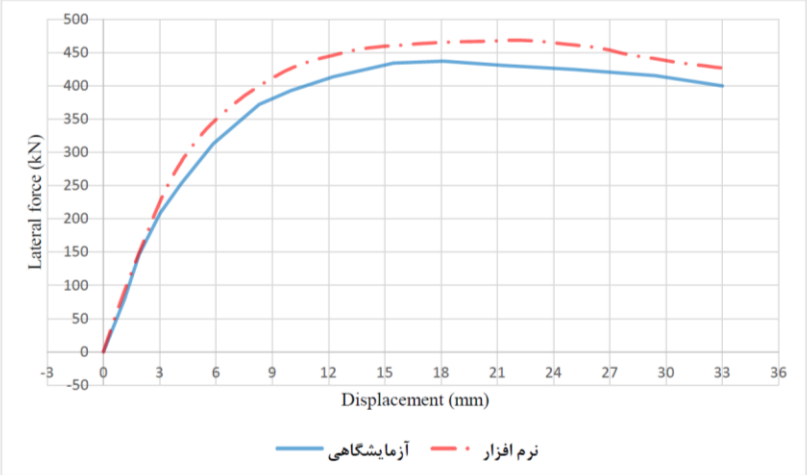
شکل ۸: نمای کلی قید Embedded region در مدل.

۳-۶- تحلیل عمومی استاتیکی (Static General)

در این تحلیل اثرات اینرسی را نادیده گرفته شده و زمان تحلیل را مساوی ۱ در نظر گرفته و تحلیل را به صورت غیر خطی انجام شده است. البته که تفاوت اصلی در روش تحلیل خطی و غیر خطی در سختی اجسام است. اگر رفتار واقعی یک ماده را در نظر گرفته شود به دلیل تغییر سختی در طی زمان بارگذاری صدها معادله باید حل شود بنابراین استفاده از کامپیوتر در تحلیلهای غیر خطی اجزاء محدود اجتناب ناپذیر است. بنابراین شروع تحلیل را با ۰/۰۱ ثانیه آغاز نموده و ماکزیمم افزایش زمان ۰/۱ و مینیمم آن$^{۱۰^{۲۵}}$ در نظر گرفته و تعداد افزایشها را ۱۰۰۰۰۰ در نظر گرفته می شود. البته باید توجه داشت که همه این تدابیر برای این می باشد که مدل همگرا شود و تحلیل بتواند به درستی انجام شود. هرچند ممکن است قسمت زیادی از حجم حافظه رایانه گرفته شود.

۴- کالیبره کردن مدل تحلیلی با مدل آزمایشگاهی

برای مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج تحلیلهای عددی، دیوار برشی مرکبی که در سال ۲۰۱۴ میلادی در دانشگاه پکن مورد آزمایش قرار گرفت[۵]، با نرم افزار آباکوس مدل سازی گردید .شکل (۹) مقایسه پاسخهای نیرو-تغییر مکان نمونه مدل سازی شده در نرمافزار آباکوس با مرجع می باشد.



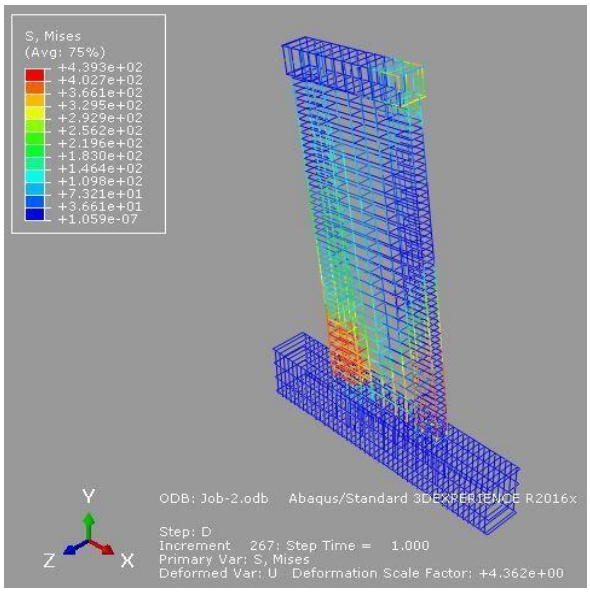
شکل ۹: مقایسه منحنی بار-تغییر مکان مدل نرمافزاری با نمونه آزمایشگاهی.

چنانچه در شکل (۹) ملاحظه می شود، نتایج بدست آمده از مدل اجزاء محدود و نتایج آزمایشگاهی در محدوده خطی انطباق بسیار مناسبی با یکدیگر دارند و اختلاف ناچیز میان نمودار مدل نرم افزار با مدل آزمایشگاهی ناشی از رفتار پیچیده بتن در حالت پلاستیسیته است که تابع فاکتورها و پارامترهای متنوعی است. به عنوان مثال پارامترهای خرابی بتن وابسته به دمای محل آزمایش بوده و یا پارامترهایی همچون زاویه اتساع و ویسکوزیته بتن اعداد مختلفی را می توانند اختیار کنند و در مدل نرم افزاری مقادیر نسبت داده شده به پارامترها برای هر بتن در محیط آزمایشگاهی صادق نیست و فقط مقادیر تعریف شده مرسوم به پارامتره است و این دلیل اختلاف ناچیز دو نمودار بار - جابجایی در مدل ها می باشد.

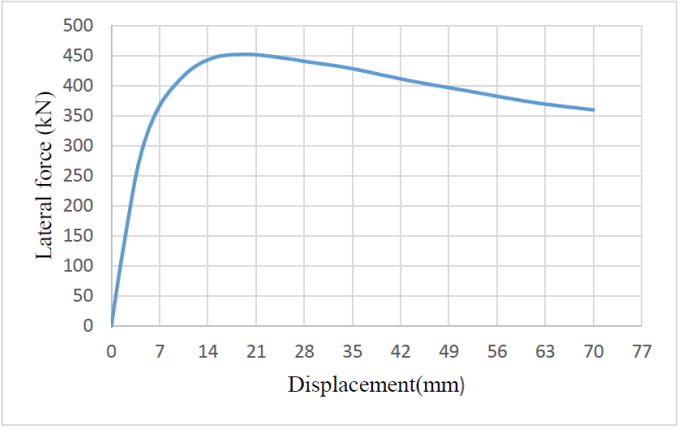
۵- جزئیات مدلسازی

پس از حصول اطمینان از دقت مناسب روشهای تحلیلی در قیاس با نتایج آزمایشگاهی، در این قسمت به بررسی مدلها با بهره گیری از روش تحلیل استاتیکی غیر خطی (push-over) پرداخته شده است. همانطور که در جدول (۱)دیده می شود ۳ مدل در این تحقیق ساخته شده و مشخصات آن آورده شده است .پس از اعمال مشخصات و ترسیم مدل، نمونه ها مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج بدست آمده در شکل های (۱۰) تا (۱۵) نشان داده شده اند.

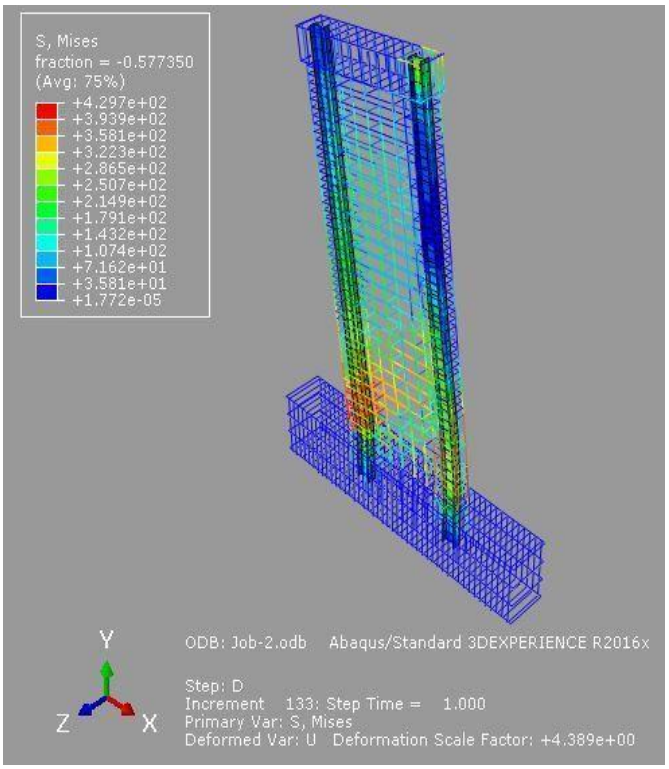
رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN PRINT: 2588-6886 ISSN ONLINE: 2588-7122، دوره سوم، شماره ۱، ۱۳۹۸، صفحه: ۵۷- ۶۹



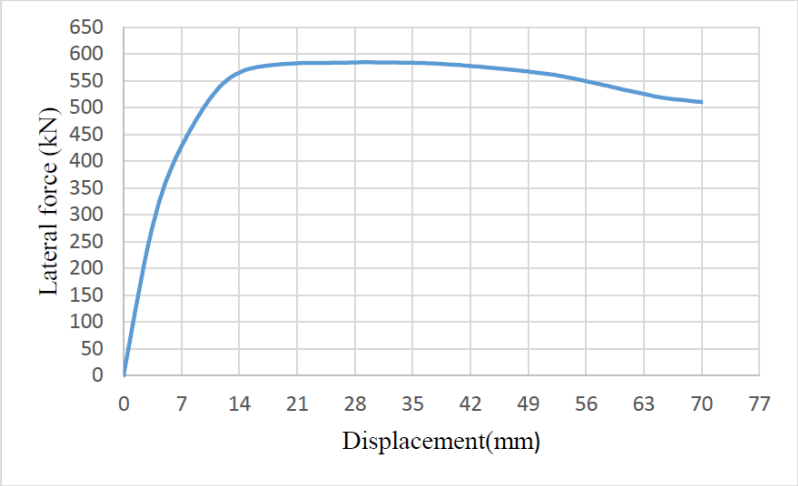
شکل ۱۰: توزیع تنش پس از تحلیل در میلگردهای مدل ۱ .



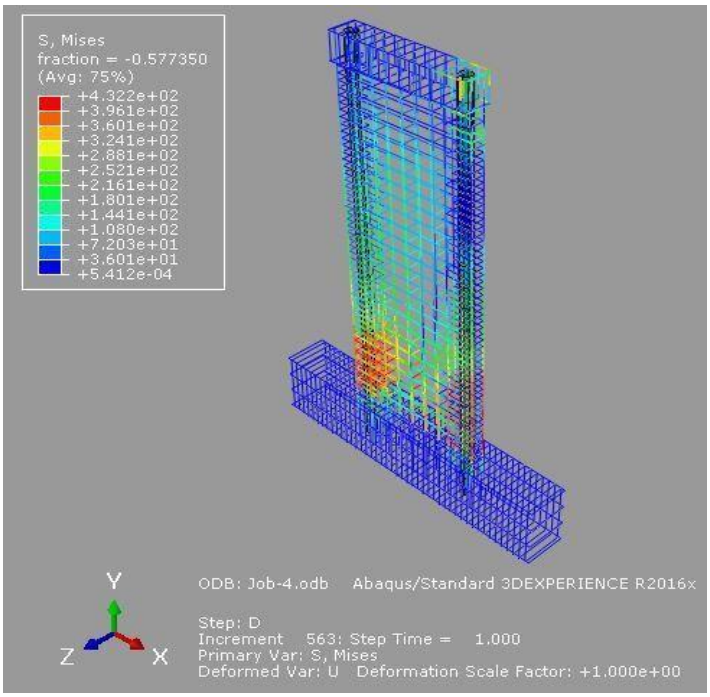
شکل ۱۱: منحنی بار-تغییر مکان مدل۱.



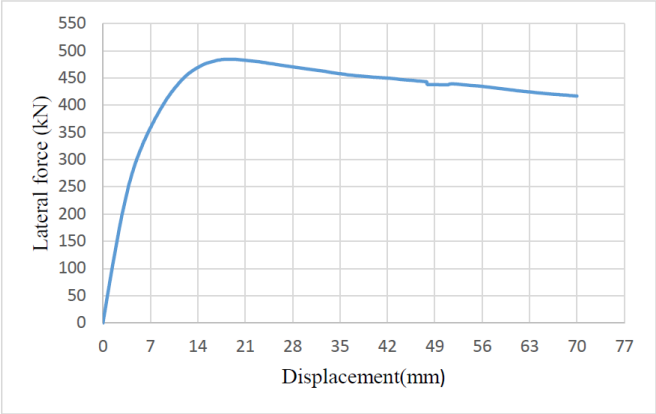
شکل ۱۲: توزیع تنش پس از تحلیل در میلگردهای مدل۲.



شکل ۱۳: منحنی بار-تغییر مکان مدل۲.

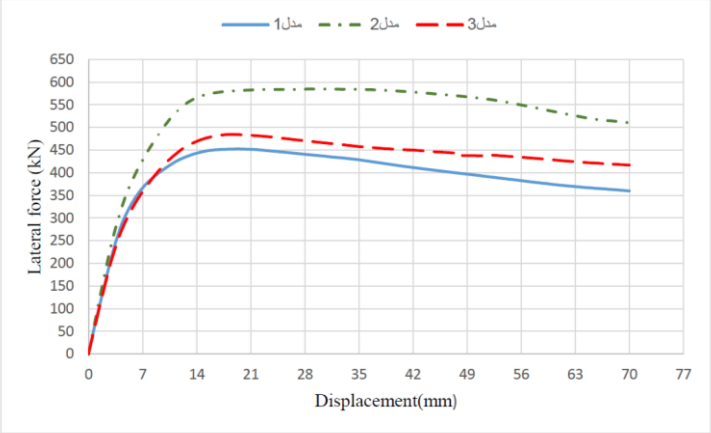


شکل ۱۴: توزیع تنش پس از تحلیل در میلگردهای مدل۳.



شکل ۱۵: منحنی بار-تغییر مکان مدل۳.

با مقایسه نمودار نیرو- جابجایی و بررسی نتایج در ۳ مدل مشاهده می شود، مدل های دارای مقطع فولادی، مدلهای ۲ و ۳، دارای شکل پذیری و ظرفیت باربری جانبی بیشتری نسبت به دیوار بتنی معمولی(مدل۱)، می باشند. شکل پذیری مدل ۲ نسبت به مدل ۳ به وضوح بهبود یافته است که می تواند به دلیل سطح مقطع بزرگتر فولاد مدل۲ نسبت به مدل ۱ باشد(شکل(۱۶))



شکل ۱۶: نمودارهای بار-تغییر مکان نمونه ها.

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

برای مقاوم سازی سازهها در برابر بارهای جانبی نظیر زلزله، سیستمهای مقاوم مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد که هر کدام از این سیستمها معایب و محاسنی دارند دیوار برشی بتنی یکی از سیستمهای مناسب برای مقابله با نیروهای جانبی است. گاهی برای رفع معایب و نواقص یک سیستم باربر جانبی از ترکیب آن با سیستم دیگر استفاده می شود. دیوار برشی بتنی با مقطع فولادی در دو طرف یک سیستم باربر جانبی می باشد که استفاده از این سیستم در سازه ها در سالهای اخیر رشد چشمگیری داشته است. آزمایشات و پژوهش ها نشان می دهد که در سیستمهای مرکب قاب فولادی یا دیوار بتنی، ترکهای باز با عرض کم ایجاد می گردد. چنین ترکهایی بعد از زلزله های متوسط با هزینه های معقولی قابل تعمیر می باشند. مزیت دیگر این سیستمهای مرکب راحتی اجرای آنها می باشد چرا که از تیرها و ستونهای مرزی میتوان به عنوان قالب و نگهدارنده دیوار بتنی مسلح استفاده کرد.

۷- مراجع

[۱]- هادیزاده،م.، سیفی، ع.، ۱۳۹۸، **دیوارهای برشی بتنی در ساختمانهای فولادی**، انتشارات خانه عمران شریف.

[2]- Nuyen, H. T. and Kim, S. E., 2009, **Finite element modeling of push-out tests for large stud shear connectors**, Journal of Constructional Steel Research, 3, 12-23.

[۳]- یکرنگ نیا،م.، شهبازی،ر.، ۱۳۹۵، **راهنمای کاربردی abaqus به همراه مسائل مهندسی عمران، سازه و ژئوتکنیک**، انتشارات علم عمران.

[۴]-حجازی،م.، لطفی، ن.، عموشاهی، ح.، ۱۳۹۳، **بررسی مدل ساختاری بتن با پلاستیسیته آسیب دیده در نرم افزار آباکوس**، هشتمین کنگره ملی عمران، دانشکده مهندسی عمران، بابل، ایران.

[5]- Ji, X., Sun, Y., Qian, J., and Lu, X., 2015, **Seismic behavior and modeling of steel reinforced concrete (SRC) walls**, Earthquake Engineering Structural Dynamics, 5, 34-45.