

مدلسازی المان محدودی نوعی کامپوزیت مسلح به عنوان دیوار

محمد رضا تابش پور

هیأت علمی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

tabeshpour@sharif.edu

مهرداد موحدنیا

دانشجوی دکتری سازه

mehrdad_movahednia@yahoo.com

چکیده

استفاده از فناوری‌های نوین ساختمانی یکی از راه‌های کاربردی و اقتصادی به منظور کاهش اثر نیروی زلزله در ساختمان‌ها می‌باشد. متناسب بودن نیروی زلزله با وزن ساختمان منجر به افزایش ابعاد مقاطع و هزینه‌های اقتصادی در طراحی ساختمان‌های مقاوم خواهد شد. به نظر می‌رسد با مطالعات دقیق و ابداع روش‌های کارآمد بتوان در رفع این مشکل گامی ارزنده برداشت. در مقاله حاضر سعی شده با بکارگیری نوعی پانل کامپوزیت مسلح، نیاز مقاومتی را در طراحی دیوارهای جداکننده به حداقل برساند. همچنین در صورت باربری فشاری مناسب، استفاده از این پانلها به عنوان دیوار باربر در ساختمانهای بنایی تحول شگرفی را در سبک‌سازی و بهینه‌سازی ساختمانهای مذکور به همراه خواهد داشت. در این مقاله جزئیات المان محدودی نوعی پانل‌های کامپوزیت با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS بررسی و نتایج بدست آمده با روابط تئوری مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است. شکل پذیری، مقاومت کششی و فشاری بسیار خوب، وزن پایین، حداقل هزینه اجرایی نصب، افزایش جذب انرژی و... از مزایای این پانل‌های کامپوزیت مسلح در مقایسه با مصالح بنایی موجود می‌باشد.

واژه های کلیدی: پانل کامپوزیت، دیوار، المان محدود، الیاف

اکثر کشورهای جهان رشد صنعت و تکنولوژی در ساختمان بوضوح مشاهده می‌گردد و مراکز علمی و تحقیقاتی مختلفی به طور پیوسته در پی تدوین استانداردهایی هستند که در دسترس عموم و بخصوص مهندسين و دستگاههای نظارتی قرار گیرد تا با توجه به اساسنامه‌های این استانداردها مصالح موجود بیش از پیش مورد شناسایی قرار گیرد.

در این مقاله سعی شده است با بکارگیری نوعی پانل کامپوزیت مسلح به عنوان دیوار تا حد زیادی به رفع موانع و مشکلات ذکر شده کمک نماید. بکارگیری مواد کامپوزیت قابل دسترس و ارزان قیمت در داخل این پانل‌ها علاوه بر افزایش مقاومت فشاری باعث یکپارچگی این قطعات شده به نحوی که در هنگام خرابی، ذرات آن متلاشی نشده و هیچگونه آواری نخواهد داشت. همچنین با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS جزئیات المان محدودی این پانل‌ها مورد بررسی و نیز با تعیین میزان بار بحرانی در سه مود کمانشی، مقایسه‌ای بین نتایج نرم‌افزاری و روابط تئوری انجام گرفته است. نمودارها و جداول ترسیم شده دقت بالای مدل‌سازی و مشبندی این پانل‌ها را در نرم‌افزار نشان می‌دهد. به منظور دستیابی به مشخصات مکانیکی و فیزیکی به عنوان داده‌های اولیه نرم‌افزار، آزمایشات مختلف و متعددی بر روی پانل کامپوزیت مسلح انجام شده که از نتایج آنها در این کار تحقیقاتی بهره گرفته شده است.

۱- کاربرد انواع دیوارها در ساختمان‌های متداول

در یک دسته‌بندی کلی می‌توان انواع دیوارهای بکاررفته در ساختمان‌ها را از جنبه کاربردی به سه گروه تقسیم بندی کرد:

استفاده از مصالح آجری غیر مسلح در زمان‌های گذشته و نیز در ساخت بناهای تاریخی از اهمیت خاصی برخوردار بوده است [۱]. امروزه در ایران و در شهرهای کوچک بکارگیری این سازه‌ها بسیار معمول و رایج است. این سازه‌ها به دلیل وزن زیاد، شکل پذیری و مقاومت اندک در هنگام وقوع زلزله جزء آسیب پذیرترین سازه‌های معمول محسوب می‌شوند [۲]. با کلاف‌دار کردن دیوارهای آجری تا حدودی به یکپارچگی و مقاومت در برابر نیروهای زلزله کمک شده است ولی تاثیری بر ظرفیت باربری این سازه‌ها نداشته است. در کنار افزایش تقاضا، نیاز به ارتقای کیفیت در مصالح و روش‌های ساخت و ساز، رفع بی‌نظمی و عدم توان تولید محصولات استاندارد در روش‌های سنتی و در نهایت نیاز به کاهش قیمت تمام شده با تغییر در تیراژ تولید از جمله مواردی هستند که ضرورت صنعتی سازی ساختمان را پر رنگ‌تر می‌نماید. استفاده از مصالح نوین و صنعتی و نحوه بکارگیری آنها می‌تواند در این زمینه بسیار ارزشمند باشد.

از سوی دیگر شناسایی خواص اولیه مصالح ساختمانی و لزوم کاربرد صحیح و مناسب آن می‌تواند در احداث یک ساختمان ایده‌آل مفید باشد. عدم شناخت خواص مصالح منجر به افزایش ضریب اطمینان و نیز مصرف بیش از اندازه و غیر ضروری آن در ساخت و ساز خواهد شد که نتیجه آن افزایش وزن و حجم مصالح، عدم زیبایی و نظم در نما و نیز هزینه‌های غیراقتصادی خواهد بود. با توجه به نیاز روزافزون جامعه به احداث ساختمانهای مدرن و کارآمد و استفاده بهینه از حداقل فضاهای موجود و نیز در کنار رشد سریع جمعیت، صنعت و تکنولوژی مصالح ساختمانی باید هر روز متنوع‌تر شده و جوابگوی نیازهای جامعه باشد. در

دیوار باربر

دیوار پرکننده

دیوار جداکننده

شناخت مشخصات فیزیکی و اطلاع از خصوصیات اجرایی دیوارهای ذکر شده می‌تواند نقش ارزنده‌ای در طراحی بهینه انواع سازه‌ها و کاهش خسارات مالی و جانی در هنگام وقوع زلزله داشته باشد.

۱-۱ دیوار باربر

بکارگیری این نوع دیوار در ساخت ساختمان‌های بنایی و منازل روستایی و ویلایی با استفاده از آجر فشاری در همه نقاط کشور بسیار رایج و مرسوم است. استفاده از دیوار به عنوان عضو باربر اصلی منجر به محدود شدن تعداد طبقات در این ساختمان‌ها خواهد شد.

بررسی آسیب‌های ایجاد شده در زلزله‌های پیشین حاکی از وجود بیشترین خسارات مالی و جانی در اینگونه ساختمان‌ها می‌باشد. وزن زیاد، شکل‌پذیری پایین، فراوانی آوار در هنگام تخریب و آسیب جدی در شکست برون صفحه‌ای از ضعف‌های عمده این دیوار با مصالح آجر فشاری محسوب می‌شود. استفاده از مصالح نوین و صنعتی با وزن سبک و شکل‌پذیری بالا و با قابلیت تحمل نیروهای فشاری بسیار خوب نسبت به آجر فشاری می‌تواند به عنوان یک مصالح جایگزین مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۲ دیوار پرکننده

استفاده از این نوع دیوار به عنوان میانقاب در کلیه سازه‌های اسکلتی اجرا می‌گردد. به علت اتصال این دیوار به ستون‌ها و سقف، در حرکت جانبی سازه به هنگام وقوع زلزله به عنوان یک عامل بازدارنده عمل خواهد کرد به همین دلیل مطابق بند آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران

می‌بایست اثر اندرکنش بین دیوار و سازه در تحلیل و طراحی مد نظر قرار گیرد.

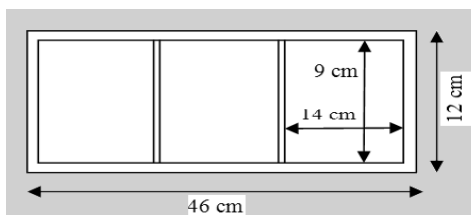
وجود این میانقاب‌ها در ساختمان می‌تواند دارای اثرات منفی همچون ایجاد طبقه نرم بدلیل نامنظم بودن سختی در ارتفاع، ایجاد طبقه ضعیف بعلت حذف دیوار در پلان، ایجاد پیچش در سازه بدلیل توزیع نامناسب دیوار در پلان، ایجاد ستون کوتاه بدلیل توزیع نامناسب نیرو، کاهش دوره تناوب و نیز کمتر بودن ضریب رفتار در سیستم ترکیبی دیوار و قاب نسبت به سیستم قاب منجر به افزایش نیروی طرح خواهد شد. از سوی دیگر بکارگیری این دیوارهای پرکننده دارای مزایایی همچون افزایش سختی، افزایش مقاومت سازه، کاهش شکل‌پذیری مورد نیاز، تشکیل شکست برشی شکل‌پذیر در ستون کوتاه فلزی، طراحی قاب با نیروی کمتر، کاهش تغییرمکان جانبی سازه که این عامل بدلیل عدم رعایت محدودیت مقدار تغییرمکان در سازه‌های بلند می‌تواند بسیار مفید باشد [۳].

۱-۳ دیوار جداکننده

به منظور جلوگیری از اندرکنش بین دیوار و قاب سازه‌ای و نیز عدم لحاظ سختی دیوار در سیستم ترکیبی، می‌بایست دیوار را با اتصالات مناسب از سازه جدا نمود. بدین ترتیب دیوار به فاصله ۲ تا ۴ سانتیمتر از ستون‌ها و سقف اجرا شده و فواصل موجود با مصالح نرم پر می‌شوند. این امر بویژه در مورد دیوارهای آجری ترد و شکننده دارای اهمیت است.

۲- مواد کامپوزیت و دلایل استفاده از آنها

کامپوزیت به ماده‌ای اطلاق می‌شود که از دو یا چند فاز با خواص مختلف تهیه شده باشد. ماده کامپوزیت شامل چند فاز مجزا بوده که در یک فاز پیوسته پخش شده است. در صورتیکه فازهای مجزا دارای خواص مختلف باشند



شکل ۲- مشخصات مقطع پانل

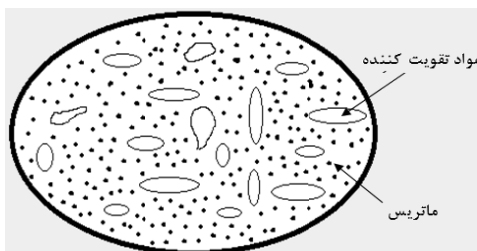
ماده اصلی ساخت این پانل گچ بوده که با جایگزین نمودن آن به جای سیمان علاوه بر سبکی به میزان قابل ملاحظه- ای در کاهش آلاینده های زیست محیطی می تواند موثر باشد [۵].

۴- معرفی روش اجزای محدود

به منظور تحلیل یک مساله مهندسی باید یک مدل ریاضی را که اصطلاحاً معادلات حاکم نامیده می شود از شرایط فیزیکی مورد نظر به دست آورد. این معادلات حاکم عمدتاً به صورت دیفرانسیلی بوده که به همراه شرایط مرزی، مساله را حل می کنند.

در صورتی که با دانش ریاضی بتوان معادلات دیفرانسیل را به طور دقیق حل کرد رسیدن به پاسخ دقیق بدیهی خواهد بود. اما در بسیاری از مسائل هندسی بدلیل پیچیدگی و یا عدم تطبیق مدل ریاضی با شرایط مرزی و شرایط اولیه روش حل دقیقی وجود ندارد. برای دستیابی به پاسخ در اینگونه مسائل از روش های عددی بهره گرفته می شود. در این روش پاسخ دقیق در نقاط گسسته ای از سیستم حدس زده می شود. همچنین معادلات دیفرانسیل به صورت تکه های متعدد در مقطع مربوطه تقسیم شده که اصطلاحاً به هر تکه، المان گفته می شود و رئوس این المان ها به گره موجود در مدل منتهی می گردد. روش های عددی برای حل معادلات دیفرانسیل از دو روش عمده زیر استفاده می کند:

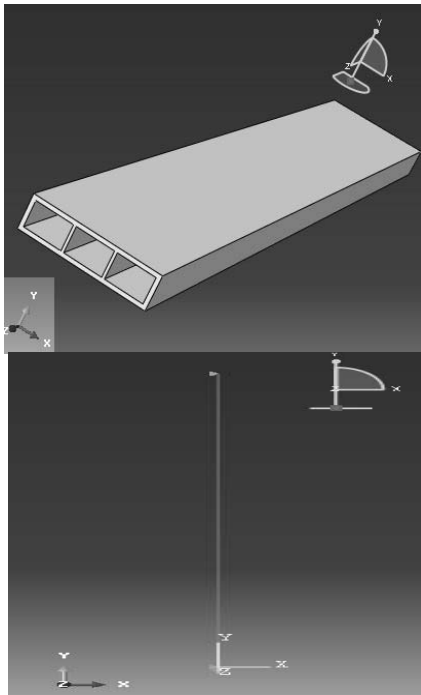
کامپوزیت را اصطلاحاً هیبرید می گویند [۴]. فاز پیوسته را ماتریس نامیده و به فاز مجزا مواد تقویت کننده می گویند. چگونگی توزیع مواد تقویت کننده در حجم یک ماده کامپوزیت از اهمیت خاصی برخوردار است. به منظور دستیابی به یک ماده همگن می بایست توزیع مواد تقویت کننده کاملاً یکنواخت باشد در غیر اینصورت علاوه بر تبدیل به یک ماده غیرهمگن، در مناطقی که توزیع این مواد کمتر است زودتر شکست رخ می دهد. به طور کلی می توان بیان کرد که انتخاب نوع ماتریس و ماده تقویت کننده و نسبت بین آنها به عواملی همچون تنش های اعمال شده، مقاومت در برابر حرارت، مقاومت در برابر خوردگی و هزینه تمام شده بستگی دارد.



شکل ۱- ماده کامپوزیت

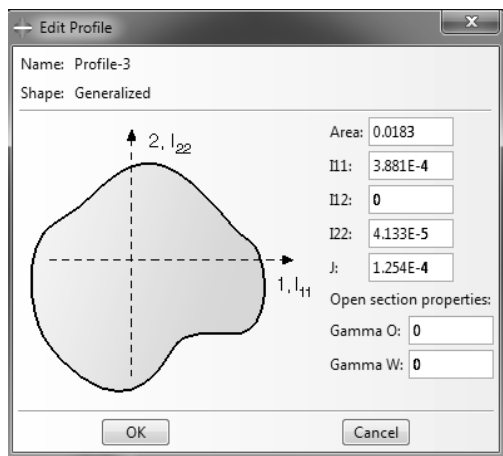
۳- معرفی پانل پیش ساخته مسلح به عنوان دیوار

در تحقیق حاضر با استفاده از فناوری نوین ساختمانی و با رعایت عواملی همچون سبک سازی، سرعت اجرا، مقاومت در برابر زلزله، حریق و هزینه بهینه نوعی پانل با مشخصات مقطع نشان داده شده مورد بررسی قرار گرفته است. این پانل از سه حفره تشکیل شده که به منظور افزایش مقاومت کششی و فشاری و نیز جلوگیری از فروپاشی در هنگام تخریب از نوعی مش توری پلاستیکی و الیاف پودری به عنوان مواد کامپوزیت در قسمت های بال و جان استفاده شده است.



شکل ۳- مدل سازی بصورت Solid و Beam

قابل ذکر است با توجه به مدل سازی پانل در مقطع دو بعدی Beam می بایست مشخصات هندسی مقطع به نرم افزار معرفی گردد. شکل (۴) نحوه معرفی پارامترهای پانل کامپوزیت مسلح را در نرم افزار نشان می دهد.



شکل ۴- معرفی پارامترهای پانل کامپوزیت مسلح در نرم افزار

روش المان محدود (Finite Element Method)

روش تفاضل محدود (Finite Difference Method)

در روش المان محدود که تحقیق حاضر بر اساس آن انجام گرفته است معادلات دیفرانسیل برای هر یک از المان ها را با در نظر گرفتن توابع درونیایی حل نموده و معادلات حاکم را استخراج می نماید. از سر هم کردن معادلات مربوط به تک تک المان ها، معادلات حاکم بر کل مدل به دست می آید که با یک دستگاه معادلات جبری خطی یا غیرخطی جایگزین می شود.

۵- مدل سازی پانل کامپوزیت با استفاده از نرم افزار

المان محدود

با استفاده از خصوصیات مکانیکی پانل کامپوزیت مسلح که از نتایج آزمایشگاهی استخراج گردیده است این پانل با استفاده از نرم افزار محدود ABAQUS مدل سازی و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است [۶].

۵-۱- مدل سازی و تعیین خواص یک مقطع (section)

در ابتدا می بایست نوع مقطع جهت مدل سازی پانل انتخاب گردد. با تعیین خصوصیات یک مقطع از یک قطعه، خصوصیات المان هایی که در آن مقطع استفاده می شود مشخص می گردد. هر مقطع به صورت مستقل ساخته شده سپس به قطعه مورد نظر اختصاص می یابد. نکته مهم آن است که المان به کار رفته در یک مقطع باید با اطلاعات موجود در آن مقطع مطابقت داشته باشد.

پانل کامپوزیت مسلح مورد نظر در مقطع Solid به صورت سه بعدی و همگن و نیز در مقطع Beam به صورت دو بعدی، به صورت کاملا مجزا مدل سازی و نتایج خروجی آنها با یکدیگر مقایسه گردیده است.

۵-۲- اختصاص نوع مصالح و تعیین مشخصات

مکانیکی

رفتار پانل مربوطه به صورت الاستیک و از نوع ایزوتروپیک در نظر گرفته شده که خصوصیات مکانیکی آن‌ها پس از انجام آزمایشات مختلف به صورت جدول (۱) تعیین و در نرم‌افزار اعمال شده است.

جدول ۱- مشخصات مکانیکی پانل کامپوزیت در مدلسازی [۷]

مقدار	خصوصیات پانل کامپوزیت مسلح
-	چگالی
5000 Kg/cm ²	مدول یانگ
0.25	ضریب پواسون

با توجه به انجام تحلیل به صورت استاتیکی نیازی به در نظر گرفتن چگالی و وارد نمودن مقدار آن در نرم‌افزار نیست.

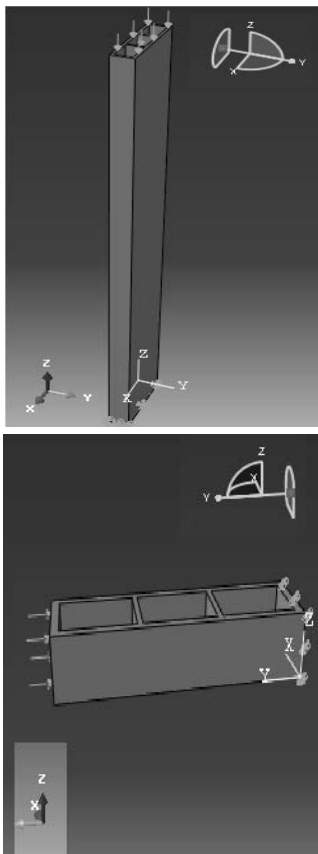
۵-۳- اعمال بارگذاری و شرایط مرزی

در صورت استفاده از این پانلها به عنوان دیوار باربر غیرمسلح و نیز به عنوان میانقاب در اجرا با دو نوع بارگذاری مواجه هستیم.

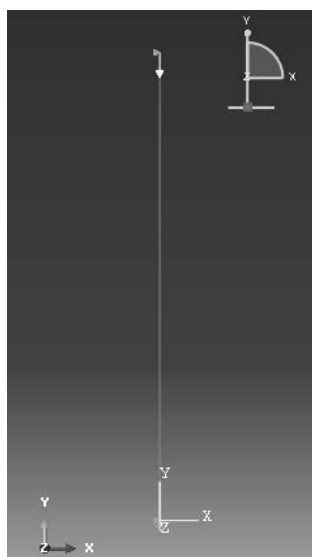
- پانل به عنوان یک المان تحت بار قائم فشاری: در این حالت پانل به صورت یک عضو دو سرمفصل تحت بار قائم فشاری در نرم‌افزار مدل سازی شده است.

- پانل به عنوان یک المان تحت بارگذاری عرضی: در صورت استفاده از این پانلهای کامپوزیت در کلیه دیوارهای سازه‌ای و نیز بکارگیری آن به عنوان میانقاب، نیروهای برشی وارد بر دیوار به صورت درون صفحه‌ای (In plan) خواهد بود که لازم است به صورت جداگانه مدلسازی و مورد بررسی قرار گیرد. شکل‌های (۵) و (۶) مدل پانل ساخته شده به طول سه متر در نرم‌افزار را

نمایش می‌دهند.



شکل ۵- بارگذاری‌های انجام گرفته در مدلسازی Solid



شکل ۶- بارگذاری‌های انجام گرفته در مدلسازی Beam

۴-۵- انتخاب نوع المان

با توجه به مدلسازی انجام شده در دو مقطع مختلف، انتخاب نوع المان نیز متناسب با محیط در نظر گرفته شده انتخاب می‌گردد.

در مقطع Solid از المان Continuum که از مهمترین انواع المان‌های محیط پیوسته می‌باشد استفاده شده‌است. این المان دارای ۲۰ گره بوده و به منظور کاهش زمان حل مساله از انتگرال کاهش یافته بهره گرفته شده‌است. هرچند این امر دقت حل مساله را مقداری کاهش خواهد داد ولی سرعت و زمان اندک انجام تحلیل، این ضعف را جبران خواهد داد [۸].

در مقطع Beam المان‌ها بر اساس تئوری تیرها به دو گروه تقسیم می‌شوند.

نوع اولر- برنولی

نوع تیموشنکو

در پانل مدلسازی شده در مقطع Beam از المان نوع تیموشنکو استفاده شده که قابلیت مدلسازی و تغییر شکل برشی عرضی را دارد. این المان تیرهای عریض را به خوبی تیرهای باریک مدلسازی می‌کند.

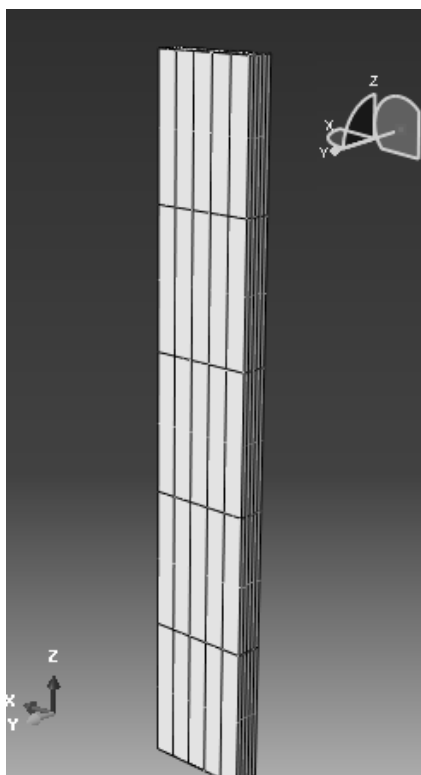
۶- آنالیز حساسیت مشبندی جهت تعیین تعداد

مناسب المان‌ها

به منظور تعیین تعداد المان‌های مناسب جهت دستیابی به جواب‌های نزدیک به واقعیت در حداقل زمان ممکن، آنالیزهای متعددی بر روی مدل مورد نظر انجام شده‌است. در آنالیزهای انجام شده نحوه و چگونگی مشبندی در دو حالت مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌است:

استفاده از تعداد المان‌های یکسان در قسمت‌های طولی و

جانبی مدل



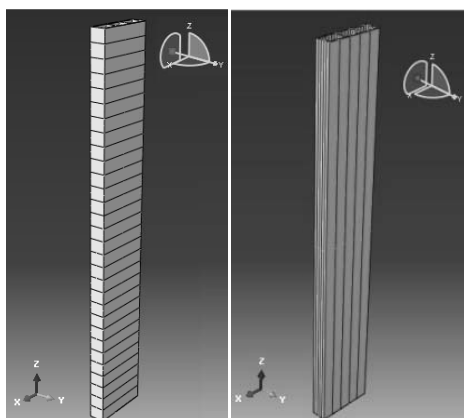
شکل ۷- مشبندی یکنواخت در مدل Solid

در این حالت با انجام مشبندی‌های یکنواخت برای مدل مورد نظر، تحلیل‌های گوناگون صورت گرفته که نتایج مختصری از آن در جدول (۲) نشان داده شده‌است.

جدول ۲- مشخصات تحلیل انجام گرفته با مشبندی یکنواخت

بار بحرانی مود سوم (KN)	بار بحرانی مود دوم (KN)	بار بحرانی مود اول (KN)	مدت زمان آنالیز (s)	تعداد کل المان‌ها	تعداد المان‌ها	
					جانبی	طولی
177.267	84.27 1	22.40 0	42	224	4	4
170.922	83.39 9	22.36 4	77	430	5	5
166.493	82.62 3	22.28 1	70	1024	8	8
164.936	82.15 6	22.12 0	93	1500	10	10
163.524	81.77 0	21.99 6	149	3855	15	15

استفاده از تعداد المان‌های غیریکنواخت در قسمت طولی و جانبی مدل



شکل ۸- مشبندی غیر یکنواخت در مدل Solid

همچنین نتایج تعداد محدودی از آنالیزهای انجام شده با مشبندی غیریکنواخت در جدول (۳) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد استفاده از تعداد المان‌های بیشتر علاوه بر افزایش مدت زمان آنالیز، همیشه منجر به جواب‌های بهتر نخواهد شد.

جدول ۳- مشخصات تحلیل انجام گرفته با مشبندی غیریکنواخت

بار بحرانی مود سوم (KN)	بار بحرانی مود دوم (KN)	بار بحرانی مود اول (KN)	مدت زمان آنالیز (s)	تعداد کل المان‌ها	تعداد المان‌ها	
					جانبی	طولی
197.327	86.484	22.369	59	168	4	3
194.800	86.013	22.272	58	258	5	3
169.899	83.582	22.597	64	560	4	10
168.747	83.212	22.466	80	860	5	10
167.413	82.885	22.375	86	930	6	10
169.237	83.339	22.490	74	1120	4	20
168.180	83.013	22.385	87	1720	5	20
168.745	83.165	22.411	84	1680	4	30
167.670	82.860	23.322	103	2580	5	30
166.230	82.514	22.236	110	2790	6	30
169.611	83.293	22.417	62	522	5	6
168.573	83.156	23.445	70	1032	5	12

۷- مقایسه نتایج تئوری با مدلسازی‌های انجام گرفته به منظور اطمینان از صحت مدل‌سازی‌های انجام گرفته و همچنین تعیین میزان خطا، مقایسه‌ای بین نتایج تئوری و مدل پانل در Solid و همچنین در Beam انجام گرفته است. در این مقایسه، حداکثر بار فشاری اعمال شده بر این پانل‌ها (در صورت بکارگیری آن‌ها به عنوان دیوار باربر) تعیین شده که نتایج آن در جداول (۴) و (۵) نشان داده شده است.

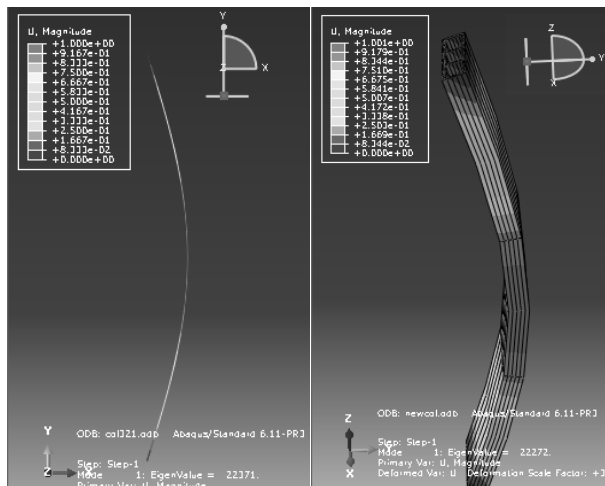
جدول ۴- مقایسه نتایج تئوری و نرم افزار به منظور تعیین بار بحرانی در مودهای مختلف برای Solid

میزان خطا (%)	نتایج مدل در Solid	نتایج تئوری	بار بحرانی در مود اول (KN)
0.9	22.272	22.481	بار بحرانی در مود اول (KN)
4	86.013	89.924	بار بحرانی در مود دوم (KN)
3.7	194.800	202.329	بار بحرانی در مود سوم (KN)

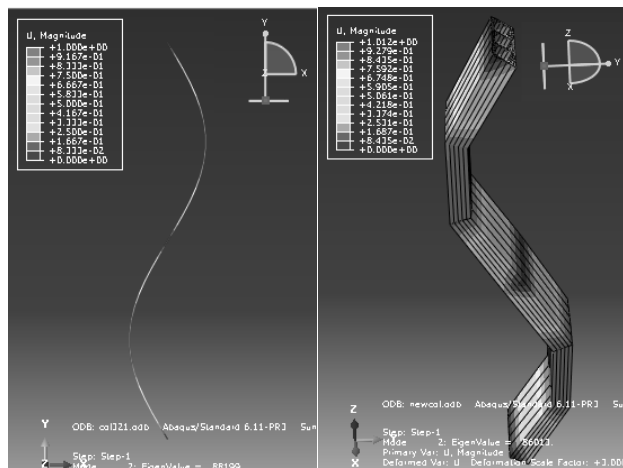
جدول ۵- مقایسه نتایج تئوری و نرم افزار به منظور تعیین بار بحرانی در مودهای مختلف برای Beam

میزان خطا (%)	نتایج مدل در Solid	نتایج تئوری	بار بحرانی در مود اول (KN)
4.8	22.371	22.481	بار بحرانی در مود اول (KN)
1.9	88.199	89.924	بار بحرانی در مود دوم (KN)
4.2	193.797	202.329	بار بحرانی در مود سوم (KN)

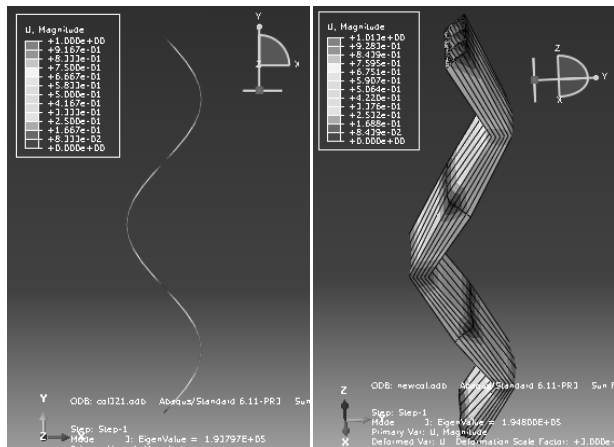
همان‌طور که ملاحظه می‌گردد نتایج حاصل از آنالیز مدل پانل در Solid مطابقت بسیار خوبی با نتایج تئوری دارد اما با درصدی خطا همراه بوده که بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی است. از ویژگی‌های خوب این مدل در نظر گرفتن بار جانبی و بررسی کماتش موضعی در پانل‌ها می‌باشد. شکل (۹) اشکال مودی پانل را در هر دو مدل نشان می‌دهد.



موداول



مود دوم



مود سوم

شکل ۹- اشکال مودی تحت بارگذاری قائم در دو مدل Beam و Solid

۸- نتیجه گیری

در این مقاله جزئیات مدلسازی المان محدودی نوعی کامپوزیت مسلح به عنوان یک ماده نوین و سبک در اجرای انواع سازه‌ها مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

انتخاب محیط مناسب در مدل‌سازی، تعیین نوع المان، تعداد مناسب المان‌ها در مشبندی به منظور دستیابی به پاسخ‌های دقیق در حداقل زمان ممکن از نکات مهم و اساسی در پانل کامپوزیت شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار المان محدود می‌باشد.

ملاحظه می‌گردد که استفاده از تعداد المان‌های بیشتر علاوه بر افزایش مدت زمان آنالیز، همیشه منجر به جواب‌های پهنه نخواهد شد.

همچنین مقایسه نتایج بدست آمده از مدل‌سازی پانل کامپوزیت در مقاطع Solid و Beam با نتایج تئوری، میزان دقت بالای مدل‌سازی پانل در نرم‌افزار را با حداقل خطای ممکن بیان می‌کند.

۹- تقدیر و تشکر

از شرکت بنای رسیس (مبتکر و سازنده محصولات دیوار ایزی‌وال) به خاطر همکاری در ارائه نتایج آزمایشگاهی پانل کامپوزیت تشکر می‌گردد.

مراجع

۱. تابش‌پور، م. ر. (۱۳۸۴)، «مطالعه آسیب پذیری لرزه ای و مقاوم سازی سازه های آجری غیر مسلح» اولین همایش بین المللی مقاوم سازی لرزه ای، دانشگاه علم و صنعت، تهران.

۲. تابش‌پور، م. ر. (۱۳۹۲)، «لزوم بررسی دقیق شکست برون صفحه دیوار و ارائه جزئیات مناسب برای مهار آن بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰» استحکام ساختمان، ماهنامه فنی مهندسی عمران، سال اول، شماره ۳، آذر ۱۳۹۲.

۳. تابش‌پور، م. ر. (۱۳۹۲)، «قاب پر شده با دیوار آجری» دانشنامه زلزله ۷، انتشارات فدک ایستاتیس، تهران.

۴. وارسته‌پور، ح. (۱۳۷۸)، «کاربرد مواد کامپوزیت پیشرفته در مهندسی ساختمان» سازمان سازندگی و آموزش وزارت نیرو.

۵. تابش‌پور، م. ر.، موحدنیا، م. استفاده از نوعی پانل پیش‌ساخته کامپوزیت مسلح به عنوان دیوارهای باربر، ارسال شده به هشتمین کنگره ملی عمران، بابل، ۱۳۹۳.

۶. شرکت بنای رسیس، مبتکر و تولید کننده پانل سبک ایزی‌وال به صورت کامپوزیت مسلح www.easywall.ir

۷. بخش تحقیق و توسعه شرکت بنای رسیس (۱۳۹۲)، «فناوری نوینی در صنعت ساختمان (ایزی‌وال)» انتشارات فدک ایستاتیس، تهران

۸. خلخالی، ا. (۱۳۸۶)، «تحلیل اجزای محدود با کمک ABAQUS» موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران.