

تعیین مقاومت و تغییر مکان جانبی پانلهای دیوار برشی در سازه‌های فولادی سرد نورد شده

شهاب الدین حاتمی* و امیر رحمانی**
دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج
دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر

(دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۲/۲۳ - دریافت نسخه نهایی: ۱۳۸۹/۱۰/۲۸)

چکیده -

ANSYS

واژگان کلیدی:

Determining the Lateral Resistance and Displacement of Shear Wall Panels in Cold-Formed Steel Structures

S. Hatami and A. Rahmani

Faculty of Engineering, Yasouj University
Islamic Azad University of Bushehr

Abstract: *Light steel framing can be a good alternative to the traditional construction systems in Iran because of special benefits such as possibility of industrial manufacture, pre-fabrication and being a lightweight system. Shear wall panels*

** - دانشجوی کارشناسی ارشد

* - استادیار

composed of cold formed steel frame and sheathing materials are one of the most common lateral bracing systems in these structures. Because of lightness and low lateral forces of the earthquake, the sheathings generally are made of wooden materials. In this study, lateral strength and displacement of the shear wall panels were determined using a finite element model. The panels were modeled using ANSYS software and a nonlinear push-over analysis was carried out. By comparing the numerical results of the present study with those of different experimental works done by other researchers, the finite element model was verified. Then a parametric study was performed to determine the effect of frame, sheathing and connections characteristics on the lateral behavior of shear wall panels.

Keywords: shear wall panel, light steel framing (LSF), cold-formed steel, lateral strength, lateral displacement, finite element model, push-over analysis.

۱- مقدمه

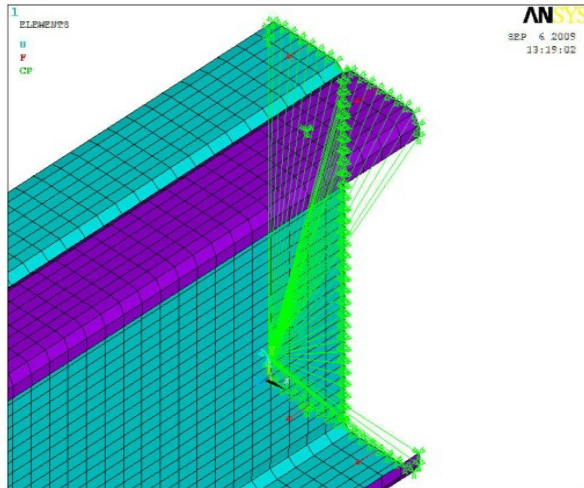
نیاز شدید به افزایش بهره‌وری در بخش ساختمان کشور این واقعیت را آشکار کرده است که استفاده از سیستم‌های سنتی در امر ساخت و ساز جوابگوی نیاز جامعه نبوده و استفاده از فناوریهای نوین در این بخش اجتناب ناپذیر است. در این میان، سیستم‌های ساختمانی با پتانسیل‌های تولید صنعتی و پیش‌ساختگی می‌توانند نیازهای کمی و کیفی صنعت ساختمان را برآورده کنند. یکی از این سیستم‌ها، سیستم قاب سبک فولادی است که نه تنها امکان تولید صنعتی و پیش‌ساختگی آن وجود دارد، بلکه به علت سبک بودن سیستم در هنگام زمین‌لرزه، آسیب‌پذیری ساختمانها را به حداقل می‌رساند [۱].

دیوارهای برشی یکی از اجزای اصلی مقاوم در برابر بارهای جانبی مخصوصاً زلزله‌اند که به طور وسیع در ساختمانهای کوتاه‌مرتبه و میان‌مرتبه سبک فلزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر پانل دیوار برشی از یک قاب فولادی با مقاطع فولادی سرد نورد شده تشکیل شده است که تیرکها و ستونکهای قاب با پیچهای خودکار یا پرچ به یکدیگر متصل شده‌اند و پوششی از جنس مصالح چوبی یا ورق فولادی نازک بر روی قاب پیچ شده یا چسبانده می‌شود. برای طراحی سازه‌های سرد نورد شده تعیین میزان مقاومت جانبی دیوارهای برشی اهمیت بسزایی دارد. برای تعیین مقاومت جانبی پانلهای دیوار برشی به دلیل رفتار نسبتاً پیچیده پانل، اکثراً از آزمایشات تمام مقیاس استفاده می‌شود که موسسه آهن و فولاد آمریکا [۲] بر اساس این آزمایشات مقادیر مقاومت چند نوع دیوار برشی استاندارد را ارائه می‌دهد. محققانی همچون راجرز [۳]، سرت [۴ و ۵] و فلوپ و دوینا [۶] آزمایشات متعددی را بر روی رفتار پانلهای دیوار برشی انجام

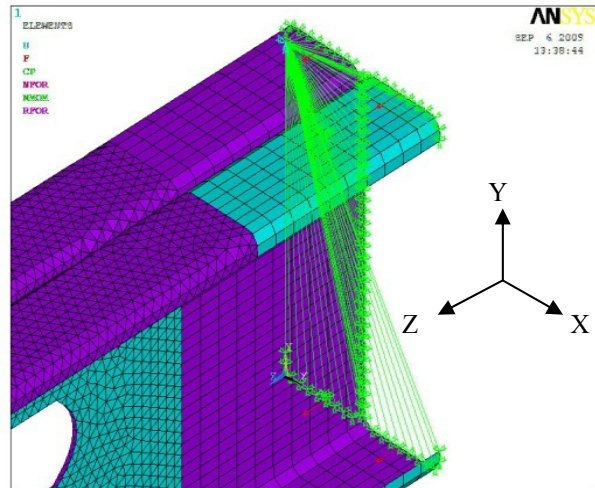
داده‌اند. در تمامی این آزمایشات پانلهای دیوار برشی به ارتفاع ۲/۴ متر مورد آزمایش قرار گرفته و از پیچهای خودکار برای متصل کردن پوشش به قاب (تیرک و ستونک) استفاده شده است. ولی برای بررسی اثر فواصل پیچهای اطراف، عرض دهانه و ضخامت اجزای قاب بر رفتار جانبی دیوار برشی، این عوامل متغیر در نظر گرفته شده است. مصالح پوشش پانلهای دیوار برشی از مصالح چوبی همچون تخته‌های چند لایه و یا تخته‌های گچی است. در ضمن از مقاطع سرد نورد شده دابل C شکل به عنوان ستونکهای انتهایی قاب و از مقاطع C شکل تکی به عنوان ستونکهای میانی و اعضای تیرک استفاده شده است.

در سال ۲۰۰۶ لی و مارتینز [۸] از یک روش تحلیلی برای تعیین مقاومت و تغییر مکان جانبی دیوارهای برشی استفاده کردند. در این روش برای دستیابی به دقت مناسب در تعیین مقاومت و تغییر مکان جانبی دیوارهای برشی پارامترهای مؤثری همچون خصوصیت مصالح، ابعاد هندسی، فواصل پیچها و جزئیات ساخت در نظر گرفته شده است و نهایتاً با مقایسه روش تحلیلی با نمونه‌های آزمایشگاهی صحت این روش تأیید شده است [۸].

اگر چه بررسی رفتار جانبی دیوار برشی در سازه‌های فولادی سبک نیازمند مطالعات آزمایشگاهی است لیکن بررسی کلیه پارامترهای سازه‌ای با آزمایش دسترس‌پذیر نبوده و یا با صرف وقت و هزینه‌های زیاد مقدور است. از طرفی مدل‌های تحلیلی معمولاً برای بررسی پانلهایی با مشخصات مشابه کاربرد دارند و با تغییر پارامترهای مسئله می‌توانند خطای زیادی را به دنبال داشته باشند. لذا در تحقیق حاضر از روش عددی اجزای محدود برای تحلیل بار-افزون دیوارها برشی در سازه‌های فولادی



ب) مقطع سوراخ دار



الف) مقطع بدون سوراخ

شکل ۱- مدل اجزای محدود ستونک و اجزای بندی آن

رفتار برشی پوشش و نحوه اتصال این دو هست. در این فصل، ابتدا مدلسازی اعضای قاب فولادی را مورد بررسی قرار داده و سپس به رفتار جانبی پانل کامل پرداخته می‌شود.

۱-۲- مدلسازی ستونکها

مقاومت ستونکها از عوامل مؤثر در تعیین مقاومت و تغییر مکان جانبی پانلهای دیوار برشی است، به گونه‌ای که کمناش ستونکها می‌تواند مود گسیختگی غالب باشد. در ضمن ستونکها به عنوان تکیه‌گاهی برای پانلهای دیوار برشی‌اند که باید نیروهای جانبی تحمل شده توسط پانل را با توجه به اتصالات موجود به صورت نیروی محوری تحمل کنند. موارد فوق اهمیت ستونکها را بیش از پیش بیان می‌کند. از طرفی تیرکها وظیفه انتقال بارهای قائم و جانبی را بر عهده دارند. بنابراین لازم است ستونکها و تیرکها را به درستی مدل کرد.

در نرم‌افزار ANSYS برای مدلسازی ستونکها از اجزای SHELL 181 و در ستونکهایی که از ترکیب دو مقطع حاصل شده‌اند، برای مدلسازی پیچهای اتصال‌دهنده آن دو از روش کوپلینگ^۱ استفاده شده است. مقطع ستونک در فضای دوبعدی ایجاد شده و سپس در بعد سوم گسترش داده می‌شود، شکل (۱- الف).

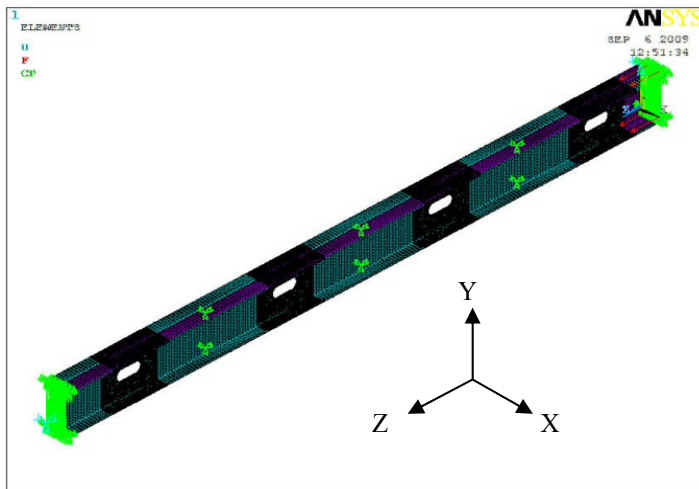
سیک تحت بارگذاری درون-صفحه استفاده شده است. برای این منظور از نرم‌افزار ANSYS به لحاظ قابلیت‌های بالا در المانهای صفحه و پوسته برای مدل کردن پانلهای دیوارهای برشی و نیز اعمال تحلیلهای غیرخطی هندسی و مصالح استفاده شده است. اما نکته‌ای که در این روش حائز اهمیت است، میزان تشابه مدل اجزای محدود با شرایط واقعی مسئله و امکان شبیه سازی پیچیدگیهای آن از حیث رفتار کمانشی و پس کمانشی مقاطع فولادی، شکستهای محتمل در اعضا و اتصالات و شرایط بارگذاری است. مسلماً یکی از راههای دستیابی به اطمینان بالاتر، در همه روشهای مدلسازی عددی، تطبیق نتایج با آزمایشات و عملی است که بدین طریق می‌توان صحت مدلسازی و تحلیل را بررسی کرد. در این مطالعه، نتایج مدل‌های عددی با نتایج آزمایشگاهی بر روی ۲۹ نمونه پانل دیوار برشی با عرض و ضخامت اجزای قاب و فواصل پیچهای مختلف مقایسه و تطبیق داده می‌شود. پس از اطمینان از صحت مدلسازی، مطالعه‌ای پارامتریک برای بررسی تأثیر خصوصیات قاب و پوشش بر روی مقاومت و تغییر مکان پانلهای دیوار برشی صورت می‌گیرد.

۲- تحلیل عددی

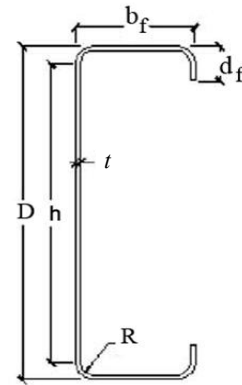
رفتار جانبی پانل دیوار برشی متأثر از عملکرد قاب فولادی،

جدول ۱- مشخصات مقطع و مصالح ستونکها

تنش تسلیم، F_y (MPa)	ضریب پواسون	مدول الاستیسیته، E (MPa)	عمق سخت کننده لبه ای، d_f (mm)	شعاع خم داخلی، R (mm)	عمق مقطع، D (mm)	عرض بال، b_f (mm)	ضخامت، t (mm)
۳۸۸/۰۴	۰/۳	۲۰۳۰۰۰	۹/۵۳	۴/۹۸	۱۵۲/۴	۴۱/۲۸	۱/۳۷۲



شکل ۳- مدل اجزای محدود ستونک سوراخ دار



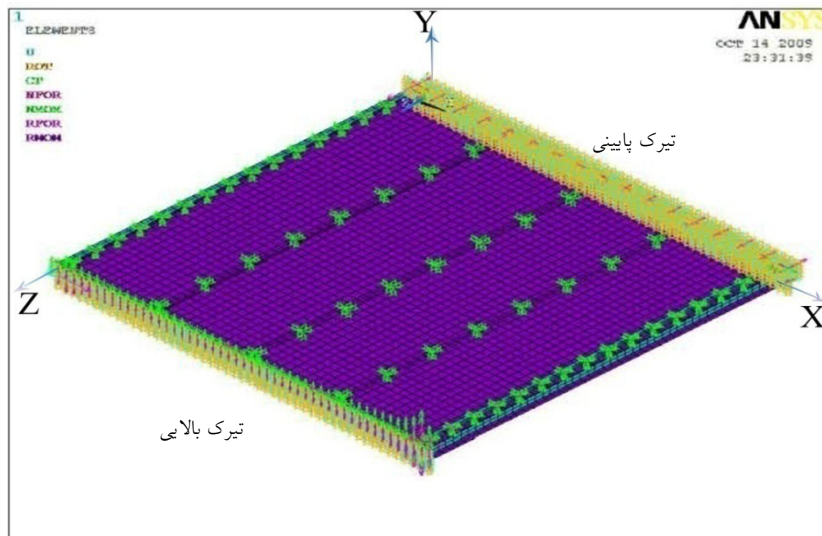
شکل ۲- پارامترهای مقطع ستونک

جدول ۲- مقایسه بار کمانش الاستیک مقطع سوراخ دار و بدون سوراخ

۱۰۶۷	۹۱۴	۷۶۲	۶۱۰	۳۰۵	فاصل پیچها در طول (mm)
۵۴/۴۸	۵۷/۲۰	۵۷/۲۷	۵۸/۴۶	۵۸/۷۳	بار کمانشی مقطع عادی (بدون سوراخ) (kN)
۵۳/۶۴	۵۶/۵۰	۵۶/۵۸	۵۶/۵۳	۵۶/۸۱	بار کمانشی مقطع سوراخ دار (kN)
۱/۵	۱/۲	۱/۲	۳/۳	۳/۳	تفاوت بار مقطع سوراخ دار و بدون سوراخ (%)
۰/۵۹۳	۰/۶۲۱	۰/۶۲۱	۰/۶۳۳	۰/۶۳۱	نسبت تنش کمانشی مقطع عادی به تنش تسلیم

شده است. اجزای بندی مقطع سوراخ دار در شکل (۱ - ب) نمایش داده شده و مدل یک ستونک زوج ناودانی سوراخ دار و نحوه اتصال دو مقطع ناودانی به روش کوپلینگ در شکل (۳) دیده می شود. مطابق شکل (۳)، پیچهای اتصال به صورت زوج (با فاصله ۱۹ میلیمتر از لبه) در طول عضو توزیع شده اند. طول و عرض سوراخهای لوبیایی شکل به ترتیب ۱۰۲ و ۳۸ میلیمترند. مقایسه بار کمانش الاستیک مقطع سوراخ دار و بدون سوراخ برای چهار نمونه با مشخصات فوق الذکر و با فواصل طولی متفاوت پیچها، در جدول (۲) مشاهده می شود. از آنجا که

در ساختمانهای فولادی سبک، عموماً برای عبور تأسیسات از درون دیوار، در جان مقطع ستونکهای دیوار سوراخهایی ایجاد می کنند. برای بررسی تأثیر این سوراخها بر مقاومت ستونکها، بار کمانش محوری مقاطع سوراخ دار با مقادیر متناظر آن از نوع بدون سوراخ به روش اجزای محدود مقایسه می شود. برای تطابق ابعاد مقطع و سوراخهای آن با نمونه های عملی، از ستونکهای زوج ناودانی (I شکل) با مشخصات مرجع [۹] استفاده می شود. مقطع هر یک از ناودانیها در شکل (۲) نشان داده شده و مشخصات هندسی و مصالح آن در جدول (۱) ارائه



شکل ۴- مدل اجزای محدود پانل دیوار برشی همراه با شرایط مرزی و هم بندیهای مربوطه

وجود سوراخها، کمتر از ۴ درصد در مقاومت کماتش محوری ستونکها تأثیرگذار بوده، برای ساده سازی مدل و سرعت تحلیل، در بخشهای آتی، ستونکها به صورت عادی (بدون سوراخ) مدل می شوند.

سطر آخر جدول (۲) نسبت تنش کماتش الاستیک به تنش تسلیم فولاد در نمونه هاست. هدف از ارائه این نسبتها در ستونکهای مورد مطالعه، اشاره به این مطلب است که در اکثر مقاطع جدارنازک مورد استفاده در ساختمانهای سبک فولادی، کماتش اعضای فشاری قبل از تسلیم عضو رخ می دهد. البته ممکن است با ورود مقطع به رفتار پس کماتشی و یا به دلیل وجود تنشهای پسماند، فولاد به تنش تسلیم رسیده و سپس رفتار پلاستیک را تجربه کند.

پایینی قاب در تمام جهات بسته شده و تغییر مکان تیرک بالایی تنها در جهت عمود بر صفحه (جهت Y) مهار شده است. تغییر مکان جانبی به تیرک بالایی در جهت X وارد می شود. برای فراهم کردن امکان کماتش ستونکها، که به عنوان یکی از مودهای گسیختگی در تعیین مقاومت و تغییر مکان جانبی پانلهای دیوار برشی اند، تغییر مکان تیرک بالایی در جهت Z آزاد است. لازم به ذکر است، تغییر مکان تمام گره های تیرک بالایی به یک گره مرجع در گوشه تیرک بسته شده است تا تغییر مکان جانبی، به صورت یکسان به تمام نقاط تیرک اعمال شود. لذا در تحلیل بار-افزون، کل تیرک بالایی تحت نیرو قرار گرفته و تغییر شکل جانبی پانل دیوار برشی را موجب می شود.

منحنی تنش- کرنش فولاد اعضای قاب به صورت الاستو- پلاستیک کامل مدل شده است. بدیهی است، در نمونه هایی که در مراحل مختلف بارگذاری، تنش اعضای قاب از تنش تسلیم تجاوز نمی کند، تفاوتی میان رفتار دوخطی الاستو- پلاستیک و منحنی خطی الاستیک نخواهد بود. منحنی تنش- کرنش مصالح پوشش، به صورت یک منحنی ایدئال شده دو خطی با سخت کرنشی در نظر گرفته شده است. هر چند در این مصالح، نقطه تسلیم مشخصی وجود ندارد، لیکن نقطه تلاقی دو خط منحنی ایدئال را می توان تنش معادل تسلیم نامید و شیب خط

۲-۲- مدلسازی پانلهای دیوار برشی

در این بخش نحوه ساخت مدل اجزای محدود پانل کامل توسط نرم افزار ANSYS تشریح می شود. شکل (۴) نمونه ای از مدل پانل و اتصال پوشش به قاب را نشان می دهد. برای مدلسازی اعضای قاب (تیرک و ستونک) و نیز صفحه پوشش، از اجزای SHELL 181 و برای مدلسازی پیچهای اتصال پانل به قاب از روش کوپلینگ استفاده شده است. در این مدل، تیرک

۶۱

روشهای عددی در مهندسی، سال ۳۰، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۰

جدول ۳- مشخصات هندسی هر دسته از نمونه‌های مورد تحلیل

ابعاد مقطع C شکل ستونکها و تیرکها			ارتفاع پانل (mm)	عرض پانل (mm)	جزئیات نتایج عددی و آزمایشگاهی	مرجع مطالعه آزمایشگاهی
عمق مقطع، D (mm)	عرض بال، b _f (mm)	ضخامت، t (mm)				
۹۲	۴۱	۱/۱۲	۲۴۳۸	۶۰۹	جدول ۵	[۳]
۹۲	۴۱	۱/۱۲	۲۴۳۸	۱۲۱۹	جدول ۶	[۳]
۹۲	۴۱	۱/۱۲	۲۴۳۸	۱۲۱۹	جدول ۷	[۳]
۸۹	۴۱	۱/۷۲۷-۰/۸۳۸	۲۴۳۸	۱۲۱۹	جدول ۸	[۲]
۱۵۰	۴۱	۱/۵	۲۴۳۸	۳۶۰۰	جدول ۹	[۴]
۸۹	۴۱	۱/۳۷	۲۴۳۸	۲۴۳۸	جدول ۱۰	[۵]
۱۵۰	۳۲	۰/۸۸	۲۴۳۸	۲۴۳۸	جدول ۱۱	[۶]

دیوار برشی و مقادیر مقاومت و تغییرمکان آزمایشگاهی از مطالعات مراجع [۲] تا [۶] استخراج شده است. نمونه‌ها همگی دارای ارتفاع ۲/۴ متر بوده ولی عرض آنها متفاوت است. ستونکهای انتهایی که در دو طرف قاب قرار دارند، از زوج مقطع C شکل پشت‌به‌پشت تشکیل شده و سایر ستونکها تک مقطع C شکل هستند. فاصله ستونکها از هم ۰/۶ متر است. به غیر از تیرک بالا و پایین، عضو افقی فولادی دیگری در ارتفاع دیوار وجود ندارد. صفحات پوشش توسط پیچهای خودکار در طول تمامی ستونکها و تیرکها به قاب فولادی متصل می‌شوند. فواصل پیچها بر روی ستونکهای میانی در تمام نمونه‌ها ۳۰۵ میلیمتر است، لیکن فواصل آنها در پیرامون قاب یعنی بر روی ستونکهای انتهایی و تیرکها در نمونه‌های مختلف متفاوت بوده که مقادیر آنها در جداول ذیل ذکر می‌شود. مشخصات کلی هر دسته از آزمایشات، شامل ابعاد پانلها (عرض دهانه و ارتفاع)، ابعاد و ضخامت اعضای قاب (تیرک و ستونک)، در جدول (۳) ارائه شده است.

مشخصات مصالح پوشش به‌کار رفته در این نمونه‌ها در جدول (۴) آورده شده است. پوششهای دیوار برشی عبارت‌اند از تخته‌های چوبی جهت‌دار^۲ (OSB)، تخته‌های چندلایبی^۳ (DFP) و^۴ (CSP)، تخته‌های گچی^۵ (GWB)، که از مصالح چوبی یا گچی ساخته شده‌اند. فولاد مورد استفاده در ساخت

دوم را مدول مماسی سخت کرنشی نام نهاد. در مطالعه حاضر، این مدول مماسی در حدود ۱۲٪ مدول الاستیسیته اولیه، فرض شده است.

نوع تحلیل رفتار جانبی دیوارهای برشی، تحلیل بار-افزون غیرخطی است. در این تحلیل، رابطه کرنش-تغییرمکان غیرخطی بوده و به عبارت دیگر در محاسبه کرنش هر نقطه، جملات دارای مشتق دوم تغییرمکان نیز لحاظ می‌شوند. لذا امکان بررسی رفتار پس‌کمانشی اعضای سردنورد شده قاب فراهم شده و تغییرشکل پوشش با دقت بالاتری محاسبه می‌شود. از طرف دیگر، با محاسبه و اعمال ماتریس سختی هندسی به ماتریس سختی هر اجزای، تأثیر نیروی محوری بر تغییرشکل جانبی دیده می‌شود. در تحلیل بار-افزون مدلهای اجزای محدود، نقطه نهایی تحلیل که متناظر با تغییرمکان حداکثر دیوار برشی نیز هست، تغییرمکانی است که با اعمال تغییرمکانی بزرگتر از آن، حتی با کوچک کردن گامهای حل غیرخطی، همگرایی حاصل نمی‌شود.

۳- نتایج تحلیل سیستم و بررسی صحت نتایج

در این فصل، ۲۹ نمونه از دیوارهای برشی با قاب فولادی سرد نورد شده، به روش اجزای محدود شبیه‌سازی شده و نتایج حاصله با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می‌شود. مشخصات پانلهای

جدول ۴- مشخصات مصالح پوشش

نوع مصالح پوشش	ضریب الاستیسیته اولیه (Mpa)	تنش معادل تسلیم (Mpa)	ضریب پواسون
OSB	۹۹۱۷	۳/۵	۰/۳
CSP	۷۳۷۶	۳/۲	۰/۲۵
DFP	۱۰۴۴۵	۳/۸	۰/۳
GWB	۱۲۹۰	۲/۰	۰/۲

جدول ۵- مقایسه نتایج تحلیل اجزای محدود با نتایج آزمایشگاهی [۳] برای پانل دیوار برشی با ابعاد ۲/۴ X ۰/۶ متر و با پوشش یک طرفه و با ضخامت اجزای قاب ۱/۱۲ میلیمتر

نوع پوشش	فاصله پیچهای لبه (mm)	مقاومت جانبی اجزای محدود (KN)	مقاومت جانبی آزمایشگاهی (KN)	تغییر مکان جانبی اجزای محدود (mm)	تغییر مکان جانبی آزمایشگاهی (mm)	نسبت مقاومت جانبی اجزای محدود به آزمایشگاه	نسبت تغییر مکان جانبی اجزای محدود به آزمایشگاه
OSB 11mm	۱۵۲	۶/۶۹	۷/۷۲	۷۸/۳	۷۸/۴	۰/۸۷۸	۰/۹۹۹
	۱۰۲	۱۰/۹۴	۱۱/۲۱	۸۳/۱	۷۸	۰/۹۷۶	۱/۰۶۵
Csp 12.5mm	۱۵۲	۷/۵۴	۷/۴۳	۹۵/۳	۱۰۳/۳	۱/۰۱۵	۰/۹۲۳
	۱۰۲	۱۱/۶۵	۱۰/۹۷	۱۰۲/۳	۱۰۷	۱/۰۶۲	۰/۹۵۶
میانگین						۰/۹۸۳	۰/۹۸۶

ستونکها و تیرکها، دارای مدول الاستیسیته ۲۰۳۰۰۰ مگاپاسکال، تنش تسلیم ۲۳۰ مگاپاسکال و ضریب پواسون ۰/۳ است. با توجه به خصوصیات فوق‌الذکر برای نمونه‌های دیوار برشی، مدل اجزای محدود برای ۲۹ نمونه ساخته شد و تحت تحلیل عددی بار-افزون با شرایط مذکور در بخش ۲-۲ قرار گرفت. در هر مورد، تغییر مکان جانبی حداکثر پانل و بیشترین نیروی برشی قابل تحمل برای آن (مقاومت جانبی) از تحلیل اجزای محدود استخراج شد و در جداول (۵) تا (۱۱) با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است. در این جدولها، علاوه بر مقادیر مطلق مقاومت و تغییر مکان جانبی مدل‌های عددی و آزمایشگاهی، برای اینکه مقایسه‌ای بهتر بین نتایج آزمایشگاهی و تحلیل اجزای محدود داشته باشیم، نسبت تغییر مکان عددی به آزمایشگاهی و نسبت مقاومت عددی و آزمایشگاهی نیز ارائه شده است. همان‌گونه که در جداول مشخص است، این مقایسه

در طیف وسیعی از مشخصات نمونه‌ها از لحاظ ابعاد دیوار، ابعاد و ضخامت مقاطع فولادی، نوع پوشش، ضخامت پوشش و فواصل پیچهای اتصال صورت می‌گیرد. با این حال در اکثر نمونه‌ها، تطبیق بسیار خوبی بین نتایج عددی اجزای محدود و نتایج آزمایشگاهی مشاهده می‌شود. البته در مواردی نیز اختلاف بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج عددی قابل ملاحظه است. بخشی از این اختلاف را می‌توان به خطاهای آزمایشگاهی از جمله وجود عیوب اولیه در شکل و استحکام مقاطع فولادی یا مصالح پوشش و خطاهای اندازه‌گیری نسبت داد. اما بخش دیگری از این اختلاف به کاستیهای روش اجزای محدود حاضر در مدل کردن برخی از شرایط واقعی مسئله برمی‌گردد. در مدل ارائه شده، مکانیزمهای خرابی پیچیده مانند خردشدگی مصالح پوشش در محل پیچها، در آمدن پیچ از محل رزوه یا از کلاهک و ترک خوردگی مصالح پوشش قابل مشاهده نیست. با این حال

جدول ۶- مقایسه نتایج تحلیل اجزای محدود با نتایج آزمایشگاهی [۳] برای پانل دیوار برشی با ابعاد ۲/۴ X ۱/۲ متر و با پوشش یک طرفه و با ضخامت اجزای قاب ۱/۱۲ میلیمتر

نسبت تغییر مکان جانبی اجزای محدود به آزمایشگاه	نسبت مقاومت جانبی اجزای محدود به آزمایشگاه	تغییر مکان جانبی آزمایشگاهی (mm)	تغییر مکان جانبی اجزای محدود (mm)	مقاومت جانبی آزمایشگاهی (KN)	مقاومت جانبی اجزای محدود (KN)	فاصله پیچهای لبه (mm)	نوع پوشش
۰/۸۶	۱/۰۳۴	۴۱/۱	۳۵/۴	۱۶/۱	۱۶/۶۶	۱۵۲	OSB 11mm
۰/۹۵	۰/۹۵	۳۹/۵	۳۷/۵	۲۳/۵۲	۲۲/۳۶	۱۰۲	
۱/۱۹	۰/۸۴۳	۴۰/۷	۴۸/۵	۲۸/۶۴	۲۴/۱۴	۷۶	
۰/۸۷۶	۱/۰۶۳	۵۴/۸	۴۸	۱۹/۵	۲۰/۷۳	۱۵۲	DFP 12.5mm
۰/۹۱	۰/۹۹۵	۶۰/۶	۵۵/۲	۲۹/۰۱	۲۸/۸۶	۱۰۲	
۱/۰۱	۰/۸۱۵	۵۸/۲	۵۸/۸	۳۶/۲	۲۹/۵۲	۷۶	
۰/۸۹۷	۱/۲۱۵	۵۰/۷	۴۵/۵	۱۵/۴۸	۱۸/۸۱	۱۵۲	Csp 12.5mm
۰/۸۸۳	۱/۱۸	۶۰/۶	۵۳/۵	۲۰/۲۳	۲۳/۹۳	۱۰۲	
۱/۰۴۲	۰/۸۵۴	۶۱	۶۳/۶	۳۰/۵۹	۲۶/۱۳	۷۶	
۰/۹۵۸	۰/۹۹۵						میانگین

جدول ۷- مقایسه نتایج تحلیل اجزای محدود با نتایج آزمایشگاهی [۳] برای پانل دیوار برشی با ابعاد ۲/۴ X ۲/۴ متر و با پوشش یک طرفه و با ضخامت اجزای قاب ۱/۱۲ میلیمتر

نسبت تغییر مکان جانبی اجزای محدود به آزمایشگاه	نسبت مقاومت جانبی اجزای محدود به آزمایشگاه	تغییر مکان جانبی آزمایشگاهی (mm)	تغییر مکان جانبی اجزای محدود (mm)	مقاومت جانبی آزمایشگاهی (KN)	مقاومت جانبی اجزای محدود (KN)	فاصله پیچهای لبه (mm)	نوع پوشش
۰/۸۳۸	۱/۲۱	۵۰/۵	۴۲/۳	۳۳/۱۶	۴۰/۱۸	۱۵۲	OSB 12.5mm
۰/۸۸۷	۱/۰۰۳	۵۵/۶	۴۹/۳	۴۹/۹۸	۵۰/۱۶	۱۰۲	
۰/۹۳۴	۱/۰۴۴	۶۴/۱	۵۹/۸۵	۶۴/۱۱	۶۶/۹۶	۷۶	
۰/۸۸۷	۱/۰۸۵						میانگین

جدول ۸- مقایسه نتایج تحلیل اجزای محدود با نتایج آزمایشگاهی [۲] برای پانل دیوار برشی با ابعاد ۲/۴ X ۱/۲ متر و با پوشش یک طرفه

نسبت مقاومت جانبی اجزای محدود به آزمایشگاه	تغییر مکان جانبی اجزای محدود (mm)	مقاومت جانبی آزمایشگاهی (KN)	مقاومت جانبی اجزای محدود (KN)	فاصله پیچهای لبه (mm)	ضخامت اجزای قاب (mm)	نوع پوشش
۱/۱۰۸	۳۱/۸	۱۲/۴۶	۱۳/۸۱	۱۵۲	۰/۸۳۸	OSB 11mm
۱/۰۸۸	۴۰/۱	۱۶/۲۸	۱۷/۷۱	۱۰۲		
۱/۱۳۲	۳۲/۸	۱۴/۶۸	۱۶/۶۲	۱۵۲	۱/۰۹۲	
۰/۹۹۳	۴۲/۴	۲۱/۹۷	۲۱/۵۸	۱۰۲		
۱/۱۷۳	۳۱/۴	۱۶/۷۳	۱۹/۶۳	۱۵۲	۱/۳۷۲	
۰/۹۴۲	۴۲/۷	۲۵/۰۹	۲۳/۶۲	۱۰۲		
۱/۰۷۸	۲۴/۴	۲۱/۹۲	۲۳/۶۳	۱۵۲	۱/۷۲۷	
۰/۷۸	۴۱/۲	۳۲/۸۸	۲۵/۶۴	۱۰۲		
۱/۰۳۶						میانگین

جدول ۹- مقایسه نتایج تحلیل اجزای محدود با نتایج آزمایشگاهی [۴] برای پانل دیوار برشی با ابعاد ۲/۴ X ۳/۶ متر با پوشش یک طرفه و با ضخامت اجزای قاب ۱/۵ میلیمتر

نوع پوشش	فاصله پیچ های لبه (mm)	مقاومت جانبی اجزای محدود (KN)	مقاومت جانبی آزمایشگاهی (KN)	تغییر مکان جانبی اجزای محدود (mm)	تغییر مکان جانبی آزمایشگاهی (mm)	نسبت مقاومت جانبی اجزای محدود به آزمایشگاه	نسبت تغییر مکان جانبی محدود به آزمایشگاه
OSB 10mm	۱۰۲	۷۴/۹۳	۷۸/۷۶	۴۵/۳	۴۲/۸۵	۰/۹۵۲	۱/۰۵۷

جدول ۱۰- مقایسه نتایج تحلیل اجزای محدود با نتایج آزمایشگاهی [۵] برای پانل دیوار برشی با ابعاد ۲/۴ X ۲/۴ متر و با ضخامت اجزای قاب ۱/۳۷ میلیمتر

نوع پوشش	ضخامت اجزای قاب (mm)	فاصله پیچهای لبه (mm)	مقاومت جانبی اجزای محدود (KN)	مقاومت جانبی آزمایشگاهی (KN)	تغییر مکان جانبی اجزای محدود (mm)	نسبت مقاومت جانبی اجزای محدود به آزمایشگاه
OSB 11mm one side	۱/۳۷	۵۱	۶۴/۷۵	۸۳/۸۱	۷۵	۰/۷۷۳
OSB 11mm on both	۱/۳۷	۵۱	۱۲۵/۹۸	۱۴۸/۶۲	۷۵/۲	۰/۸۴۸
میانگین						۰/۸۱

جدول ۱۱- مقایسه نتایج تحلیل اجزای محدود با نتایج آزمایشگاهی [۶] برای پانل دیوار برشی با ابعاد ۲/۴ X ۲/۴ متر و با پوشش دو طرفه و با ضخامت اجزای قاب ۰/۸۸ میلیمتر

نوع پوشش	فاصله پیچهای لبه (mm)	مقاومت جانبی اجزای محدود (KN)	مقاومت جانبی آزمایشگاهی (KN)	تغییر مکان جانبی اجزای محدود (mm)	تغییر مکان جانبی آزمایشگاهی (mm)	نسبت مقاومت جانبی اجزای محدود به آزمایشگاه	نسبت تغییر مکان جانبی محدود به آزمایشگاه
GWB 12.7 mm	۱۵۲	۲۵/۸	۲۶/۶۴	۴۵	۴۰	۰/۹۶۹	۱/۱۲۵

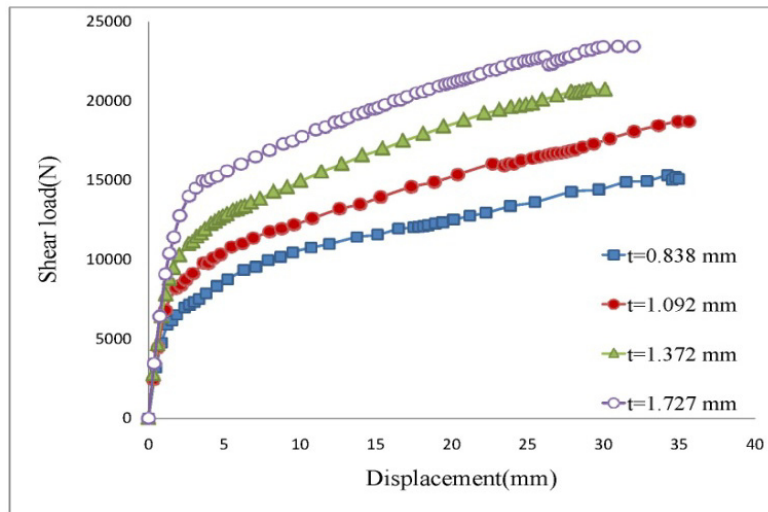
نتایج اجزای محدود در اکثر موارد قابل اعتمادند.

زیاد بوده و به تجهیزات و امکانات ویژه نیازمند است. لذا در این موارد به خصوص در صورت تعدد پارامترهای مورد بررسی، روش عددی اجزای محدود می تواند روشی مؤثر باشد.

۴- مطالعات پارامتریک پانلهای دیوار برشی

برای بررسی رفتار جانبی دیوارهای برشی با قاب سردنورد شده، به دلیل پیچیدگیهای مختلف مسئله، مطمئنترین روش انجام آزمایشات تمام مقیاس است. در عین حال، برای انجام یک مطالعه پارامتریک که لازمه آن انجام تحلیلهای متعدد است، انتخاب روش تحلیل آزمایشگاهی عموماً مستلزم هزینه و زمان

در این بخش از مدل اجزای محدودی که در بخش قبل با آزمایشات متعدد راست آزمایی شده، برای انجام یک مطالعه پارامتریک بر روی عملکرد پانلهای دیوار برشی در ساختمانهای فولادی سبک استفاده می شود. پارامترهای مورد بررسی عبارتند از: ضخامت اجزای قاب، نوع اتصال تیرک به



شکل ۵- تأثیر ضخامت اجزای قاب بر رفتار جانبی پانل دیوار برشی با ابعاد ۲/۴ X ۱/۲ متر

گرفتند. اعضای قاب متشکل از مقاطع C شکل به ارتفاع ۸۹ میلیمتر، عرض بال ۴۱ میلیمتر و ضخامتهای ۰/۸۳۸، ۱/۰۹۲، ۱/۳۷۲ و ۱/۷۲۷ میلیمترند. نتایج تحلیل‌ها در شکل (۵) مشاهده می‌شود.

۲-۴- تأثیر نحوه صلبیت اتصال اعضای قاب

برای بررسی میزان اهمیت نوع اتصال تیرک به ستونک در سیستم پانل دیوار برشی، نمونه‌هایی با خصوصیات متنوع و با دو وضعیت مختلف اتصال مفصلی تیرک به ستونک (مفصلی و گیردار) تحلیل شده‌اند. مشخصات نمونه‌ها و مقاومت جانبی دیوار در جدول (۱۲) ذکر شده است. ۹۲S۴۱-۱/۱۲، مشخصه شکل مقطع ناودانی سرد نورد شده با ارتفاع ۹۲ میلیمتر، عرض بال ۴۱ میلیمتر و ضخامت ۱/۱۲ میلیمتر است و مشخصات سایر مقاطع ارائه شده در جدول (۱۲) به‌طور مشابه قابل تشخیص است. برای مدل کردن مفصل در محل تلاقی تیرک به ستونک، به روش کوپلینگ، تنها در یک گره، جابه‌جایی آن دو در سه جهت به هم بسته شده‌اند، لیکن چرخش در آنها آزاد است. مقادیر مقاومت جانبی در واحد طول دیوار در آخرین ستون جدول (۱۲)، نشان‌دهنده آن است که تأثیر میزان صلبیت اتصال در مقاومت جانبی دیوار ناچیز است.

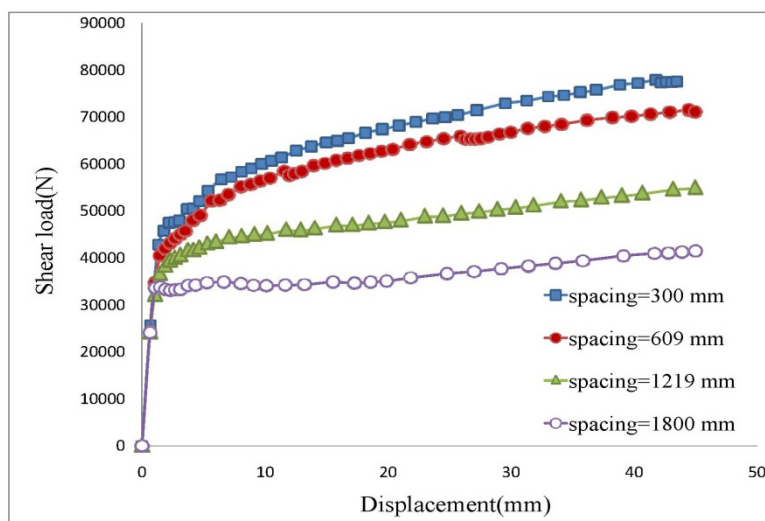
ستونک، فاصله ستونکهای قاب، ارتفاع و عرض پانل، مقاومت فولاد مصرفی، نوع صفحه پوشش و فواصل پیچهای اتصال‌دهنده قاب و پوشش. برای هر نمونه پانل دیوار برشی تحلیل بار- افزون غیرالاستیک غیرخطی انجام شده و نمودار نیروی برشی پانل در مقابل تغییرمکان جانبی آن رسم می‌شود. براساس این نمودار، مشخصه‌های اصلی رفتار جانبی دیوار برشی شامل سختی اولیه، مقاومت جانبی، تغییرمکان حداکثر، شکل‌پذیری و ... قابل استخراج است. مشخصات دیوارهای برشی مورد مطالعه در این بخش، به‌جز در مواردی که ذکر شود، مطابق خصوصیات قابهایی است که در ابتدای فصل (۳) تشریح شده است و پوشش آنها با پیچهایی به فاصله ۵۱ میلیمتر در پیرامون و ۳۰۵ میلیمتر در میانه قاب به یک طرف قاب فولادی متصل شده است.

۴-۱- تأثیر ضخامت اجزای قاب بر رفتار دیوار برشی

ضخامت اجزای قاب به عنوان یک عامل مهم در تعیین مقاومت فشاری ستونکها، به‌صورت قابل ملاحظه بر نحوه عملکرد سیستم پانل دیوار برشی تأثیر می‌گذارد. در این راستا تعداد ۴ نمونه قاب فولادی به ارتفاع ۲/۴ متر و عرض ۱/۲ متر با پوشش OSB به ضخامت ۱۱ میلیمتر مورد بررسی قرار

جدول ۱۲- تحلیل اجزای محدود برای دو نوع اتصال مفصلی و گیردار

مقاومت جانبی در واحد طول (kN/m)	مقاومت جانبی (kN)	اتصال تیرک به ستونک	نوع مصالح پوشش	ابعاد دیوار برشی (mm)	ابعاد اعضای قاب (ابعاد تیر و ستون) (mm)
۱۷/۹۶۳	۱۰/۹۴	گیردار	OSB	۶۰۹/۲۴۳۸	۹۲S۴۱-۱/۱۲
۱۷/۱۶۰	۱۰/۴۵	مفصلی			
۱۸/۳۴۲	۲۲/۳۶	گیردار	OSB	۱۲۱۹/۲۴۳۸	۸۹S۴۱-۰/۸۳۸
۱۸/۰۳۰	۲۱/۹۸	مفصلی			
۲۰/۵۷۴	۵۰/۱۶	گیردار	CSP	۲۴۳۸/۲۴۳۸	۹۲S۴۱-۱/۱۲
۲۰/۴۷۵	۴۹/۹۲	مفصلی			



شکل ۶- تأثیر فاصله ستونکها بر روی مقاومت و تغییر مکان جانبی دیوار برشی

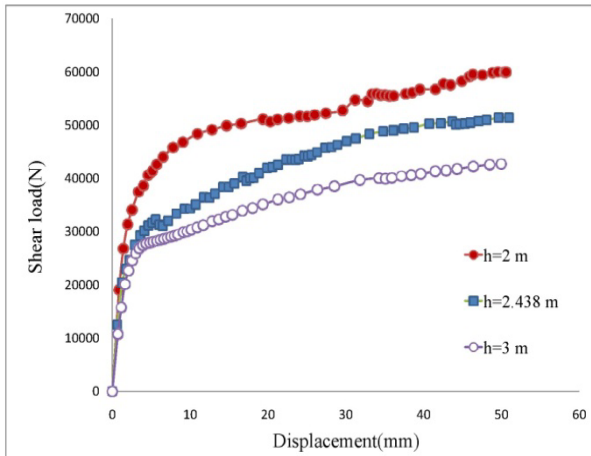
OSB به ضخامت ۱۱ میلیمتر نشان می‌دهد.

۳-۴- تأثیر فاصله ستونکها

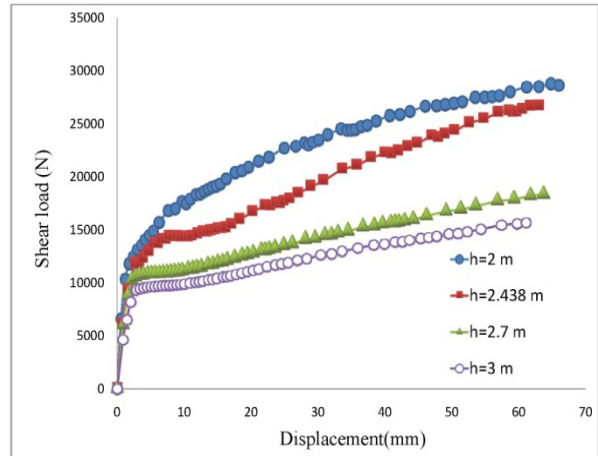
به طور معمول در سازه‌های سرد نورد شده از ستونک‌هایی با فاصله تقریبی ۰/۶ متر استفاده می‌شود و در تمام نمونه‌های آزمایشگاهی مورد اشاره در فصل ۳، این فاصله ۶۰۹ میلیمتر بوده است. هرچند استفاده از فواصل بیش از ۰/۶ متر به دلیل ابعاد صفحات پوشش و باربری قائم مورد نیاز، متداول نیست، لیکن در این قسمت، به منظور ارزیابی میزان تأثیر فاصله ستونک بر مقاومت و تغییر شکل جانبی دیوار، طیف فواصل ستونک از ۳۰۰ میلیمتر تا ۱۸۰۰ میلیمتر فرض می‌شود. شکل (۶) نتیجه این ارزیابی را برای دیوارهایی به ارتفاع ۲/۴ متر، عرض ۳/۶ متر، از مقطع ۱۵۰S۴۱-۱/۵ میلیمتر و با پوشش

۴-۴- تأثیر ارتفاع قاب

به منظور ارزیابی تأثیر ارتفاع قاب، نمونه‌هایی با ارتفاع ۲، ۲/۴، ۲/۷ و ۳ متر مدلسازی شده و نمودار نیرو-تغییر مکان آنها برای دو سری دیوار برشی ترسیم شده است. سری اول شامل قابهایی با عرض ۱/۲ متر است که صفحه DFP به ضخامت ۱۲/۵ میلیمتر به یک طرف قاب متصل شده است و نتایج آن در شکل (۷-الف) مشاهده می‌شود. سری دوم شامل قابهایی با عرض ۲/۴ متر بوده که صفحه CSP به ضخامت ۱۲/۵ میلیمتر به یک طرف قاب متصل شده است و نتایج آن در

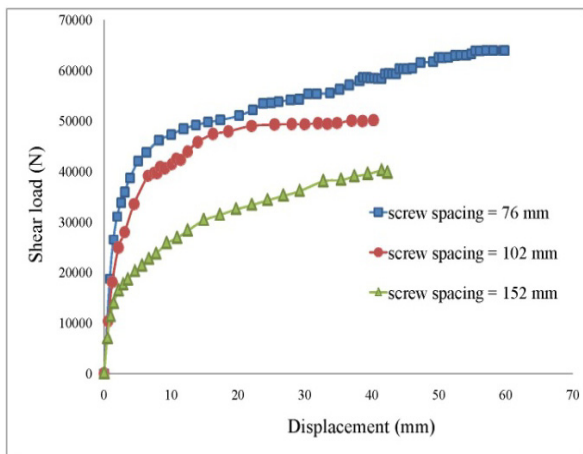


(ب)

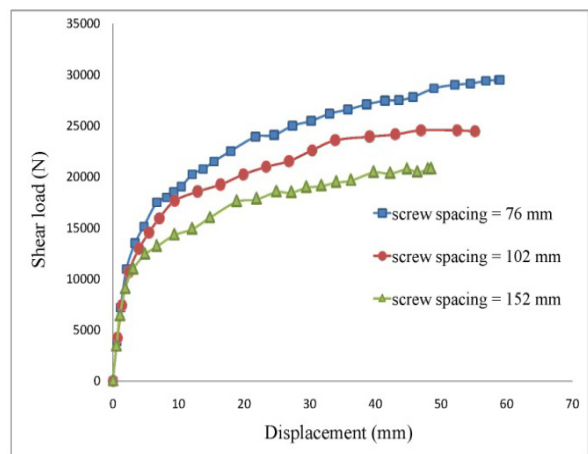


(الف)

شکل ۷- تأثیر ارتفاع قاب بر روی مقاومت و تغییر مکان جانبی پانل دیوار برشی الف) با ابعاد $۱/۲ \times ۲/۴$ متر (ب) با ابعاد $۲/۴ \times ۲/۴$ متر



(ب)



(الف)

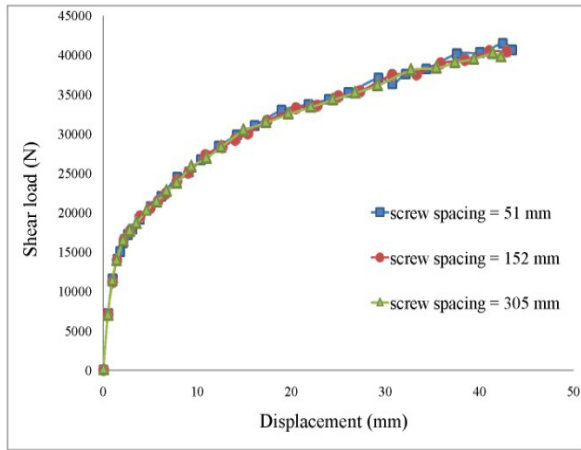
شکل ۸- تأثیر فاصله پیچهای اتصال محیطی بر روی مقاومت و تغییر مکان جانبی پانل دیوار برشی الف) با ابعاد $۱/۲ \times ۲/۴$ متر (ب) با ابعاد $۲/۴ \times ۲/۴$ متر

مقاومت ستونکها را می توان با استفاده از پیچهای اتصال کافی و کم کردن ضریب طول مؤثر به صورت قابل توجهی افزایش داد. برای بررسی تأثیر فواصل پیچهای اتصال، سه فاصله ۷۶، ۱۰۲ و ۱۵۲ میلیمتر برای پیچهای اطراف و سه فاصله ۵۱، ۱۰۲ و ۳۰۵ میلیمتر برای پیچهای اتصال میانی قاب در دو سری دیوار برشی با مشخصات ذکر شده در بخش ۴-۴ مورد مطالعه قرار گرفته است. اثر پیچهای اطراف، یعنی پیچهای موجود بر روی دو ستونک انتهایی و تیرکها، در شکل (۸) و اثر پیچهای میانی، یعنی پیچهای اتصال بر روی ستونکهای میانی، در شکل (۹) مشاهده می شود.

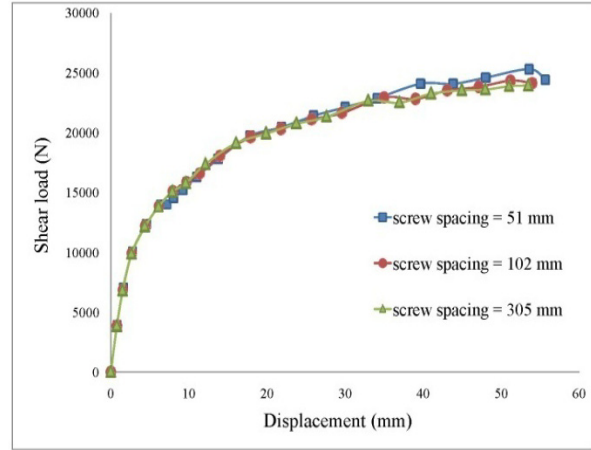
شکل (۷-ب) ارائه شده است. شکل مقاطع اعضای کلیه قابها $۱/۱۲ - ۹۲S۴۱$ میلیمتر است.

۴-۵- تأثیر فاصله پیچهای اتصال محیطی و میانی قاب

پیچهای اتصال دهنده مصالح دیوار و قاب نقش بسیار مؤثری در عملکرد دیوارهای برشی در برابر بارهای باد و زلزله دارند. این پیچها علاوه بر انتقال بار جانبی از قاب به صفحات پوشش، به عنوان تکیه گاه جانبی ستونکها نقش ایفا کرده و می توانند با ممانعت از کمانشهای کلی و اعوجاجی مقطع جدارنازک ستونک، مقاومت فشاری آن را افزایش دهند.

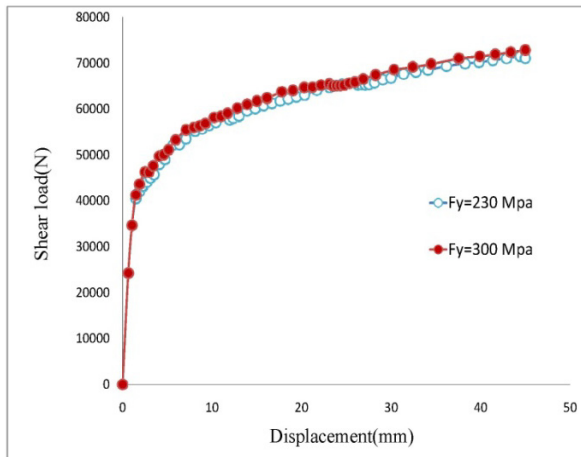


(ب)

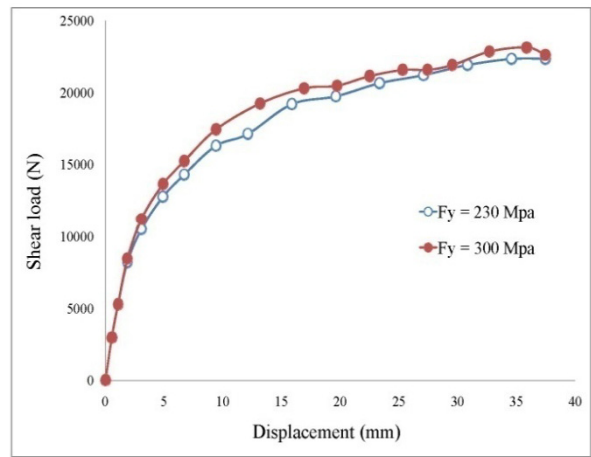


(الف)

شکل ۹- تأثیر فاصله پیچهای اتصال میانی بر روی مقاومت و تغییر مکان جانبی پانل دیوار برشی الف) با ابعاد ۲/۴ X ۱/۲ متر (ب) با ابعاد ۲/۴ X ۲/۴ متر



(ب)



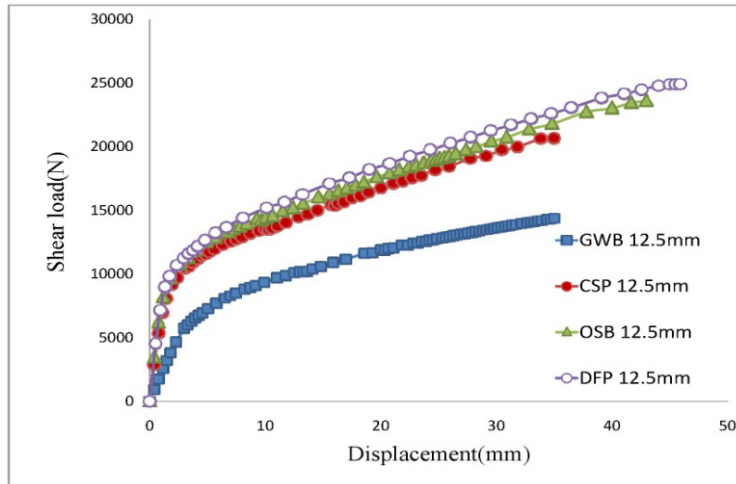
(الف)

شکل ۱۰- تأثیر تنش جاری شدن فولاد بر روی مقاومت و تغییر مکان جانبی پانل دیوار برشی الف) با ابعاد ۲/۴ X ۱/۲ متر (ب) با ابعاد ۲/۴ X ۳/۶ متر

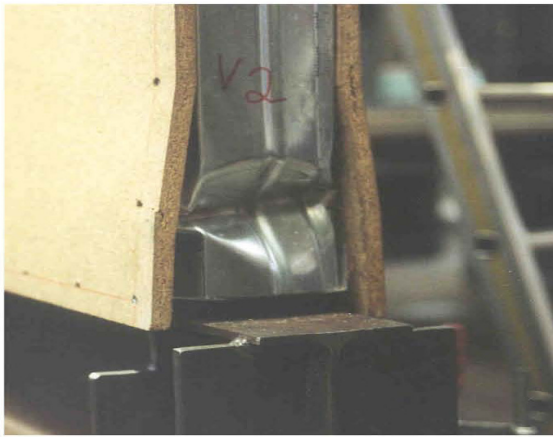
۳۰۰ مگاپاسکال مورد تحلیل قرار گرفته است و نتایج آن برای دو سری دیوار برشی در شکل (۱۰) ترسیم شده است. سری اول شامل قابهایی با عرض ۱/۲ با اعضای ۱۱۲-۹۲S۴۱ میلیمتر است که نتایج آن در شکل (۱۰-الف) مشاهده می شود. سری دوم شامل قابهایی با عرض ۳/۶ با اعضای ۱۵۰-۱۵۰S۴۱ میلیمتر است که نتایج آن در شکل (۱۰-ب) ارائه شده است. در کلیه دیوارها، صفحات OSB به ضخامت ۱۲/۵ میلیمتر به یک طرف قاب متصل شده است. همان گونه که در شکل (۱۰) مشاهده می شود، افزایش ۳۰ درصدی تنش تسلیم

۴-۶- تأثیر تنش تسلیم اعضای قاب

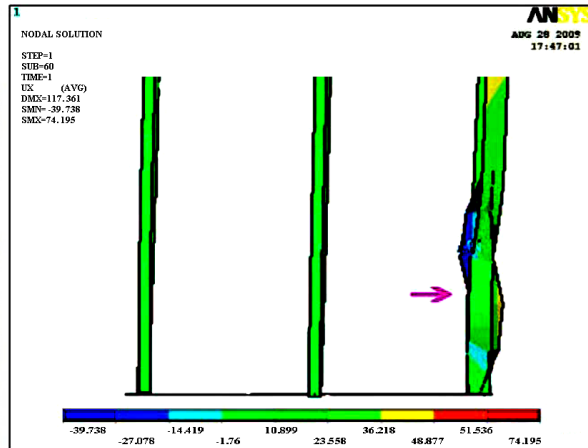
خواص مکانیکی مقاطع سرد نورد شده عموماً متفاوت از ورق و نوار فولادی قبل از شکل دهی است. افزایش نقطه جاری شدن و مقاومت کششی و همزمان کاهش شکل پذیری مهمترین اثر شکل دهی سرد بر روی خواص مکانیکی فولاد است. نقطه جاری شدن فولاد شکل یافته به طور میانگین در حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد و حداکثر ۲۰ درصد بیشتر از نقطه جاری شدن فولاد قبل از شکل دهی است. برای بررسی تأثیر تنش تسلیم اعضای قاب بر عملکرد دیوار برشی، مدلهایی با تنش تسلیم ۲۳۰ و



شکل ۱۱- تأثیر نوع مصالح پوشش بر روی رفتار جانبی پانل دیوار برشی



ب) مدل اجزای محدود



الف) نمونه آزمایشگاهی [۱۰]

شکل ۱۲- مقایسه نحوه کمانش موضعی در نمونه آزمایشگاهی و مدل اجزای محدود

۵- مکانیزمهای گسیختگی پانلهای دیوار برشی در مدلسازی اجزای محدود

تمام مکانیزمهای گسیختگی پانلهای دیوار برشی که در آزمایشگاه روی می‌دهد، را نمی‌توان در یک مدلسازی اجزای محدود مشاهده کرد. لذا بعضی از مکانیزمهای گسیختگی که در این مدلسازی قابل مشاهده است به شرح زیر هستند. با توجه به ضخامت کم ستونکهای موجود در قاب دیوار برشی، ممکن است خرابیها با کمانش ستونکها آغاز شود و گسیختگی ستونکها تعیین کننده مقاومت جانبی سازه باشد. این موضوع به‌خصوص در مورد ستونکها، با ضخامتهای پایین بسیار محتمل خواهد بود. شکل (۱۲)

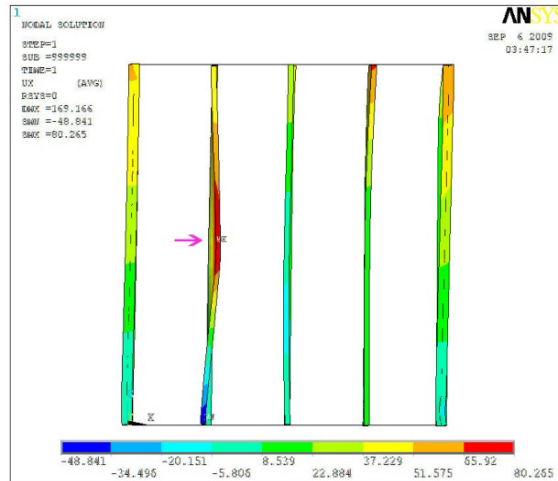
اجزای قاب (تیرک و ستونک) تأثیر بسیار اندکی در سختی اولیه و مقاومت جانبی نهایی سیستم دارد.

۴-۷- تأثیر نوع مصالح پوشش پانلهای دیوار برشی

بدیهی است که جنس و ضخامت صفحات پوشش تأثیر قابل توجهی بر مقاومت و شکل‌پذیری دیوار برشی خواهد داشت. شکل (۱۱) رفتار جانبی دیوارهای برشی با ابعاد ۱/۲×۲/۴ متر را برای چهار نوع پوشش با مشخصات مندرج در جدول (۴) نشان می‌دهد.

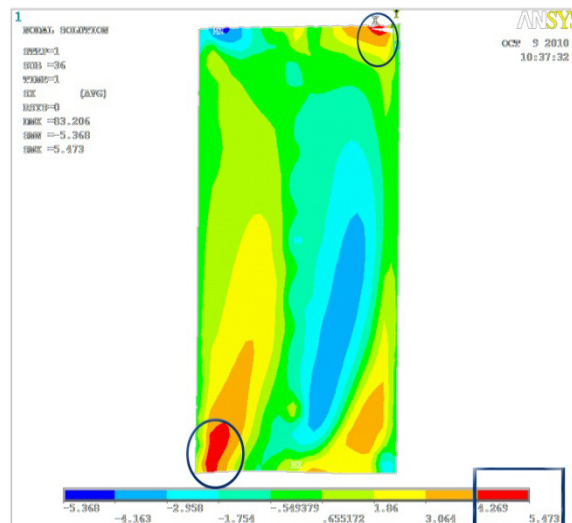


ب) مدل اجزاء محدود



الف) نمونه آزمایشگاهی [۱۰]

شکل ۱۳ - مقایسه کمانش کلی ستونک در نمونه آزمایشگاهی و مدل اجزای محدود



شکل ۱۴ - توزیع تنشها در سطح پوشش دیوار برشی تحت اثر بار جانبی

نوع گسیختگی، می تواند فروریختن دیوار برشی با پوششهای غیرفلزی را به دنبال داشته باشد.

۶- نتیجه گیری

در این مطالعه رفتار پانلهای دیوار برشی در سازه های فولادی سرد نورد شده با تحلیل بار-افزون به روش اجزای محدود و به کمک نرم افزار ANSYS بررسی شده است. مدلسازی مسئله قابلیت در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح و مقاومت پس از کمانش اعضای فولادی را دارد. برای تأیید نتایج

نمونه ای از کمانش موضعی ستونک انتهایی را در پایین ستونک نشان می دهد و شکل (۱۳)، گسیختگی سیستم و کمانش کلی ستونک میانی را ارائه می دهد. کمانش ستونک میانی بیشتر مواقعی روی می دهد که نقاط مهار شده ستونکهای میانی کم بوده و یا دهانه (عرض) قاب بزرگ باشد.

شکل (۱۴) توزیع تنشها در سطح پوشش را برای دیوار برشی تحت اثر بار جانبی نشان می دهد. انتظار می رود که تنشهای کششی حداکثر که با دایری بر روی شکل، مشخص شده اند، موجب ترک خوردن صفحه پوشش در گوشه شود. این

مدل اجزای محدود با نتایج آزمایشگاهی، ۲۹ نمونه پانل دیوار برشی استفاده شده است. مطالعات پارامتریک بر روی مدل تایید شده صورت گرفته و نتایج ذیل حاصل شده است:

۱- ضخامت اعضای قاب تأثیر شدیدی بر مقاومت جانبی و مکانیزم خرابی سیستم دارد. به گونه‌ای که برای ضخامت‌های بالای اجزای قاب مود خرابی حاکم به سمت گسیختگی صفحات پوشش دیوار سوق پیدا می‌کند، در حالی که در ضخامت‌های کم اجزای قاب، کماتش ستونکها می‌تواند تعیین کننده مقاومت جانبی سیستم باشد.

۲- میزان صلبیت اتصال تیرک به ستونک، تأثیر چندانی در مقاومت نهایی پانل دیوار برشی ندارد. این امر اولاً به دلیل نازکی اعضای قاب و مقاومت خمشی اندک آنها در محل اتصال و نتیجتاً عدم امکان بهره‌گیری مؤثر از صلبیت اتصال در افزایش باربری جانبی است و ثانیاً به علت اتصال صفحات پوشش به گره اتصال است، به گونه‌ای که حتی در اتصال مفصلی تیرک به ستونک، صفحه پوشش دوران این دو را به هم پیوند می‌دهد. بدین ترتیب صلبیت اتصالات تیرک به ستونک از اهمیت بسیار کمتری در مقایسه با اتصالات یک قاب خمشی برخوردارند.

۳- افزایش ارتفاع پانل دیوار برشی، موجب کاهش محسوس سختی و مقاومت جانبی دیوار برشی می‌شود.

۴- کاهش فاصله ستونکها تأثیر نسبتاً کمی بر سختی اولیه دارد

ولی مقاومت جانبی نهایی سیستم را به شدت افزایش می‌دهد. ۵- فاصله پیچهای محیطی اتصال‌دهنده صفحات پوشش به قاب تأثیر قابل توجهی در سختی و مقاومت جانبی دیوار دارد ولی فاصله پیچهای اتصال میانی در سختی و مقاومت جانبی سیستم نقش اندکی دارند. سهم بیشتر پیچهای اتصال محیطی در مقاومت جانبی در مقایسه با پیچهای میانی، به دلیل فاصله بیشتر آنها نسبت به مرکز اتصال (مرکز هندسی پیچها) است. به گونه‌ای که با چشمپوشی از اصطکاک بین ورقهای اتصال و در نظر گرفتن معادله تعادل لنگر حول مرکز هندسی، می‌توان گفت لنگری که توسط هر پیچ تحمل می‌شود از حاصل ضرب نیروی وارده بر پیچ در فاصله تا مرکز اتصال به دست می‌آید.

۶- جنس و ضخامت مصالح پوشش تأثیر قابل توجهی در سختی و مقاومت جانبی نهایی پانلهای دیوار برشی خواهند داشت. همچنین مصالح پوشش در تغییرشکل نهایی و شکل‌پذیری سیستم نقش عمده داشته و از عوامل تأثیرگذار بر رفتار جانبی پانلهای دیوار برشی‌اند.

۷- افزایش تنش تسلیم اعضای قاب تأثیر بسیار اندکی در سختی اولیه و مقاومت جانبی نهایی سیستم دارد. افزایش ۳۰ درصدی تنش تسلیم اجزای قاب تأثیری کمتر از ۰.۵٪ بر افزایش مقاومت جانبی داشته است.

واژه نامه

- | | | |
|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| 1. coupling | 3. Douglas fir plywood | 5. gypsum wall board |
| 2. orientated strand board | 4. Canadian softwood plywood | |

مراجع

۱. فلاح، م. ح، و وطنی اسکویی، ا.، "قاب سبک فلزی و افزایش بهره‌وری در صنعت ساختمان"، ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، اردیبهشت ۱۳۸۲، اصفهان، ایران.
2. AISI. "Standard for Cold-Formed Steel Framing-Lateral Design," Washington, DC: *American iron and Steel Institute*; 2004.
3. Rogers CA., Branston, AE., Boudreault, FA., and Chen CY. "Steel Frame Wood Panel Shear Walls: Preliminary Design Information for Use with the 2005 NBCC". In: *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC, 2004.*
4. Fulop, L., Dubina, D., "Performance of Wall-Stud Cold-Formed Shear Panels under Monotonic and Cyclic Loading Part I: Experimental Research," *Thin-Walled Structures*; Vol. 42, pp.321-38, 2004.

5. Serrette, RL., Morgan, KA., and Sorhouet, MA. "Performance of Cold Formed Steel-Framed Shear Walls: Alternative Configurations," Final Report LGSRG-06-02 Santa Clara University.
6. Serrette, RL., Ogunfunmi, K. "Shear Resistance of Gypsum-Sheathed Light-Gauge Steel Stud Walls," *J. Struct Eng Amer Soc Civil Eng*; Vol. 55, pp. 383-399, 1996.
7. Hatami, S., Ronagh, HR., and Azhari, M., "Racking Performance of Strap Braced Walls in Cold-Formed Steel Buildings.," *5th International conference on thin-walled structures*, Brisbane, Australia, 18-20 June 2008.
8. Xu, L., and Martines, J., "Strength and Stiffness Determination of Shear Wall Panels in Cold-Formed Steel Framing", *Thin-Walled Structures*, Vol. 44, pp. 1084-1095, 2006.
9. Stone, TA., and LaBoube, RA., "Behavior of Cold-Formed Steel Built-Up I-Section", *Thin-Walled Structures*, Vol. 43, pp. 1805-1817, 2005.
10. Lange, J., and Naujoks, B., "Behavior of Cold-Formed Steel Shear Walls Under Horizontal and Vertical Loads," *Thin-Walled Structures*, Vol. 44, pp. 1214-1222, 2006.