

ارزیابی رفتار دیوار برشی بتنی مسلح دارای گشودگی نامنظم تحت زلزله ی حوزه ی نزدیک گسل

ابوالفضل عربزاده* (دانشیار)

امیرپویا غلامرضایی (دانشجوی کارشناسی ارشد)

دانشکده ی هندی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

مهندسی عمران شهریه (تابستان ۱۴۰۱)
دوری ۲ - ۳۸، شماره ۲، ص. ۳۹-۴۰، (پژوهشی)

در نوشتار حاضر، برای درک جامعی از رفتار دیوار برشی با گشودگی نامنظم تحت زلزله ی حوزه ی نزدیک گسل، دو ساختمان ۵ و ۱۰ طبقه در نرم افزار ایتبس طراحی و دیوارهای برشی در نرم افزار آباکوس مدل سازی شده اند. سپس برای راستی آزمایی از مدل آزمایشگاهی آگودا و عربزاده استفاده شده است. با تغییر پارامترهای موقعیت و ابعاد گشودگی ها تحت زلزله ی نزدیک گسل طبس، نتایج نشان داد که برای هر دو مدل با افزایش فاصله ی افقی میان دو گشودگی، برش پایه، تغییر مکان نسبی و انرژی جذب شده افزایش پیدا کرده است. با قرار گرفتن گشودگی در پای دیوار، برش پایه در مدل ۱۰ طبقه نسبت به مدل ۵ طبقه کاهش بیشتری داشته است. حذف گشودگی در طبقه ی اول باعث افزایش برش پایه در مدل ۵ طبقه شده است، ولی در مدل ۱۰ طبقه تأثیر چندانی نداشته است. جهت بررسی اثر گشودگی با تغییر عرض و ارتفاع آن و با ثابت نگاه داشتن مساحت بیشینه ی گشودگی (۳۰٪) در هر نمونه مشاهده شد که تغییر عرض گشودگی باعث کاهش بسیار کمتر برش پایه در نمونه ها شده است.

arabzade@modares.ac.ir
amirpooya.gh95@gmail.com

واژگان کلیدی: دیوار برشی، گشودگی نامنظم، نزدیک گسل، برش پایه.

۱. مقدمه

تا ۱۷٪ کمتر بوده است.^[۴] آلارکن^۲ و همکاران (۲۰۱۴)، به صورت تجربی آثار بارهای محوری در رفتار لرزه یی دیوارهای بتنی را با مرزهای محصور شده بررسی کردند و دریافتند که افزایش بار محوری، تأثیر قابل توجهی در عملکرد لرزه یی و حالت گسیختگی دیوارهای بتنی دارد.^[۵] لی^۳ و همکاران (۲۰۱۵)، سه نمونه دیوار برشی بتن مسلح دارای گشودگی نامنظم، منظم و بدون گشودگی را در معرض بارگذاری چرخه یی قرار دادند و دریافتند که تمامی سه نمونه در نهایت با گسیخته شدن بیرونی ترین آرماتورها دچار شکست شدند، در حالی که بتن در ناحیه ی فشاری خرد و به شدت در نزدیکی پایه ی دیوار دچار تورق شده بود. همچنین نمونه ی دارای گشودگی منظم، شکل پذیرتر از سایر نمونه ها بوده است.^[۶] موهان^۴ و همکاران (۲۰۱۷)، شش ساختمان H، L، و T شکل با گشودگی منظم و نامنظم برای هر کدام را در نرم افزار ایتبس تحت بار زلزله بررسی کردند و دریافتند که برای هر سه نوع ساختمان، دیوار برشی با گشودگی نامنظم، رفتار مناسب تری نسبت به دیوار برشی با گشودگی منظم داشته است.^[۷] روشن^۵ و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی سه ساختمان ۳۰ طبقه دارای دیوار برشی بدون گشودگی، با گشودگی منظم و با گشودگی نامنظم پرداختند و دریافتند که وجود گشودگی در دیوار برشی، باعث کاهش سختی و مقاومت شده است. همچنین جابه جایی و تغییر مکان نسبی دیوار برشی دارای گشودگی نامنظم نسبت به گشودگی منظم کمتر بوده است.^[۸]

با افزایش شهرنشینی، نیاز روزافزون به ساختمان های بلندمرتبه بیش از پیش احساس می شود. یکی از مهم ترین ویژگی ساختمان های بلندمرتبه، کارآمدی در برابر نیروهای زلزله و باد است. از این رو سازه های بلندمرتبه باید سختی کافی به منظور تحمل نیروهای مذکور داشته باشند. یکی از راهکارهای پایداری سازه ها در مقابل نیروهای زلزله و باد، دیوار برشی است. تاکنون مطالعات گسترده یی بر روی رفتار و ظرفیت جانبی دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی انجام شده است. موسوراکا^۱ (۲۰۱۲) و^[۳-۱] (۲۰۱۳)، مطالعات گسترده یی بر روی دیوارهای برشی بتنی با گشودگی های منظم و نامنظم انجام داده و دریافتند که زاویه ی قرارگیری گشودگی ها در دیوار برشی بتنی از عوامل تأثیرگذار در ظرفیت باربری نمونه هاست. خاتمی و همکاران (۲۰۱۲)، در بررسی سه نمونه دیوار برشی بدون گشودگی، گشودگی مربعی در مرکز دیوار برشی و گشودگی مربعی در بالای سمت راست دیوار تحت دو زلزله ی حوزه ی نزدیک گسل دریافتند که مدل دارای گشودگی در مرکز دیوار، بیشینه ی جابه جایی جانبی ۸٪ کمتر از بیشینه ی جابه جایی جانبی مربوط به مدلی با گشودگی در سمت راست بوده است. در حالی که برای دیوار برشی کامل، این میزان کاهش

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۴۰۰/۸/۱۵، اصلاحیه ۱۴۰۰/۱۱/۹، پذیرش ۱۴۰۰/۱۲/۲۱

DOI:10.24200/J30.2022.59070.3023

شبه‌رام^۶ و همکاران (۲۰۲۰)، در بررسی ۱۴ سازه‌ی منظم و نامنظم با گشودگی و بدون گشودگی، شامل: سازه‌ی بدون دیوار برشی، دیوار برشی مستطیلی، دیوار برشی L شکل و دیوار برشی جعبه‌یی دریافتند که دیوارهای برشی جعبه‌یی با گشودگی و بدون گشودگی، کارایی مناسب‌تری نسبت به سایر دیوارهای برشی داشته‌اند.^[۹]

آناس^۷ (۲۰۲۱)، با بررسی اثر گشودگی درب و پنجره در دیوار برشی بتنی با تحلیل کسسان خطی در نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ به این نتیجه رسید که گشودگی پنجره، تأثیر کمی در سختی جانبی دیوار دارد؛ و اگر نسبت مساحت گشودگی پنجره به مساحت کل دیوار تا ۳٪ باشد، ممکن است تأثیر آن نادیده گرفته شود. همچنین وقتی نسبت ارتفاع به طول دیوار افزایش یافته است، اثر گشودگی کاهش پیدا کرده است.^[۱۰] عرب‌زاده و آگودا (۱۹۹۱)، با بررسی دو نمونه دیوار برشی بتن مسلح با دو ردیف گشودگی به صورت مقیاس شده دریافتند که می‌توان روش‌های موجود برای محاسبه‌ی ظرفیت باربری دیوارهای با یک ردیف گشودگی را به نمونه‌های با دو ردیف گشودگی گسترش داد.^[۱۱]

علی‌رغم مطالعات گسترده‌یی که بر روی رفتار دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی انجام شده است، همچنان تأثیر برخی از پارامترها شامل موقعیت قرارگیری گشودگی‌ها، گشودگی در پای دیوار و گشودگی‌ها با مساحت متفاوت تحت زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک گسل در دیوارهای برشی با گشودگی نامنظم به روشنی معین نیست و نیاز به مطالعات بیشتری برای دست‌یابی به درک جامعی در مورد نحوه‌ی تغییرات برش پایه، تغییر مکان نسبی، و انرژی جذب شده‌ی نمونه‌ها برای دیوارهای برشی با گشودگی نامنظم است.

۲. طراحی و مدل‌سازی عددی

در بخش حاضر، به اطلاعاتی درباره‌ی رکوردهای زلزله‌ی انتخاب شده، همپایه‌سازی آن‌ها، جزئیات طراحی و مدل‌سازی عددی پرداخته شده است.

۱.۲. رکوردهای زلزله

بانک اطلاعات شتاب‌نگاشت‌ها در دنیا کامل نیست، چرا که زلزله‌ها خیلی دیر اتفاق می‌افتند و بشر نیز مدت زمان زیادی نیست که قادر است رکوردهای زلزله را ثبت کند؛ به همین دلیل تعداد رکوردهایی که در بانک شتاب‌نگاشت‌های دنیا ثبت شده است، بسیار محدود است. لذا نمی‌توان شتاب‌نگاشت‌هایی یافت که دقیقاً مطابق بر پارامترهای مورد نیاز باشند، در نتیجه شتاب‌نگاشت‌ها مطابق با شتاب مورد نظر هم‌پایه می‌شوند. یکی از نقاط ضعف تحلیل تاریخچه‌ی زمانی، وابستگی بسیار زیاد تحلیل تاریخچه‌ی زمانی به شتاب‌نگاشت ورودی است و با هر شتاب‌نگاشت، پاسخ متفاوتی به دست می‌آید؛ به همین دلیل است که آیین‌نامه برای انجام تحلیل تاریخچه‌ی زمانی مقرر کرده است که بیش از یک شتاب‌نگاشت (دست‌کم سه شتاب‌نگاشت) در محاسبات استفاده شود، تا حتی‌المقدور بتوان به پاسخ‌های دقیق‌تری دست یافت.

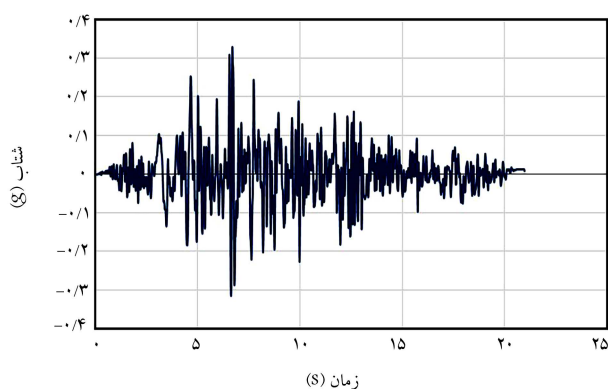
با توجه به اینکه آثار زلزله‌ی نزدیک گسل با افزایش فاصله کاهش پیدا می‌کند، لذا در نظر گرفتن یک دامنه‌ی حد بالا برای فاصله، منطقی به نظر می‌رسد. برای مثال جیانسو و مازولانی^۸ (۲۰۰۱)، محدوده‌ی ۱۵ تا ۳۰ کیلومتری را برای زلزله‌ی نزدیک گسل پیشنهاد کرده‌اند.^[۱۲] با وجود این، UBC۹۷ در جلد دوم، محدوده‌ی ۱۵ کیلومتری را در جدول‌های S-۱۶ و T-۱۶ صفحه‌ی ۳۵ آیین‌نامه پیشنهاد داده

است.^[۱۳] با توجه به مطالعات پیشین، فاصله‌ی ۲۰ کیلومتر می‌تواند حد بالای قابل قبولی برای زلزله‌های نزدیک گسل باشد.

در پژوهش حاضر از سه جفت زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک گسل طیس، نورث‌ریج، و کوبه استفاده شده است. زلزله‌ی طیس یکی از بزرگ‌ترین و قدرتمندترین زلزله‌های چند دهه‌ی اخیر ایران و همچنین زلزله‌های کوبه و نورث‌ریج به‌عنوان یک سکوی پرتاب مجدد برای بررسی زمین‌لرزه‌های حوزه‌ی نزدیک گسل و مهم‌تر شدن دستورالعمل‌های طراحی لرزه‌یی بعد از زلزله‌های مذکور، از مهم‌ترین دلایل انتخاب رکوردهای اخیر بوده است. لازم به ذکر است رکوردهای نزدیک و دور از گسل زلزله‌های ذکر شده نیز در بند ۸ با یکدیگر در نمونه‌ی اصلی مقایسه شده‌اند. در ابتدا مطابق با بند ۳.۵.۲ آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ ویرایش چهارم صفحه‌ی ۲۲ از سایت PEER، شتاب‌نگاشت‌های زلزله‌های اشاره شده دانلود شده است. هنگامی که شتاب‌نگاشت‌ها توسط شتاب‌نگارها ثبت می‌شوند، دارای مقادیر زیادی نویز هستند و همچنین از سطح مبنا مقداری فاصله دارند، پس فیلتر کردن شتاب‌نگاشت‌ها و اصلاح کردن سطح مبنا آن‌ها، امری ضروری است. این کار با استفاده از نرم‌افزار Seismosignal در سربگ Baseline Correction and Filter انجام شده است. در این مرحله، شتاب‌نگاشت‌ها وارد برنامه‌ی اکسل شده و مقیاس آن‌ها با ضربی که از تقسیم عدد ۱ بر بیشینه‌ی PGA مؤلفه‌های شتاب‌نگاشت به‌دست آمده، انجام شده است. طیف هر زوج شتاب‌نگاشت با منظور کردن نسبت میرایی ۵٪ طبق بند ۲.۵.۳.۳ قسمت ب، صفحه‌ی ۲۳ آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ ویرایش چهارم ثبت شده است. مجذور طیف‌های پاسخ هر زوج شتاب‌نگاشت را طبق بند ۳.۳.۵.۲ قسمت پ، صفحه‌ی ۲۳ آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ ویرایش چهارم محاسبه و مقایسه‌ی مجذور مربعات زوج شتاب‌نگاشت‌ها با طیف طرح استاندارد انجام شده است. برای هر دوره‌ی تناوب در محدوده‌ی $0.2T$ تا $1.5T$ ، طیف مجذور شتاب‌نگاشت‌ها بیش از ۱۰٪ از $1/3$ برابر طیف طرح استاندارد کمتر نشده است.^[۱۴] مشخصات زلزله‌های انتخابی در جدول ۱ ارائه شده است. رکورد شتاب زلزله‌های استفاده شده در تحلیل، در شکل‌های ۱ الی ۳ مشاهده می‌شود.

جدول ۱. مشخصات زلزله‌های استفاده شده در تحلیل.

محل وقوع	سال	بیشینه‌ی شتاب زلزله (g)	بزرگا
طیس	۱۳۵۷	۰/۴۰۶	۷/۸
نورث‌ریج	۱۳۷۲	۰/۴۴۷	۶/۷
کوبه	۱۳۷۴	۰/۵۶۸	۶/۸



شکل ۱. رکورد زلزله‌ی طیس.

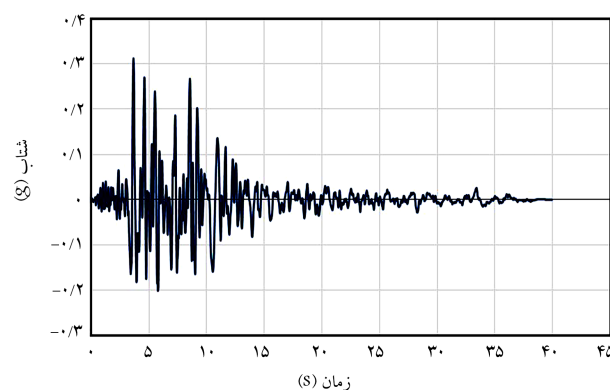
جدول ۲. مشخصات دیوار برشی مدل ۵ طبقه.

طبقه	ضخامت (mm)	ابعاد (mm)	گشودگی	اجزای مرزی
۱	۴۰۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	۱۴۵۰ × ۵۰۰	۵۰۰ × ۵۰۰
۲	۴۰۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	۱۴۵۰ × ۵۰۰	۵۰۰ × ۵۰۰
۳	۳۵۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	۱۴۵۰ × ۴۵۰	۴۵۰ × ۴۵۰
۴	۳۵۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	۱۴۵۰ × ۴۵۰	۴۵۰ × ۴۵۰
۵	۳۰۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	۱۴۵۰ × ۴۰۰	۴۰۰ × ۴۰۰

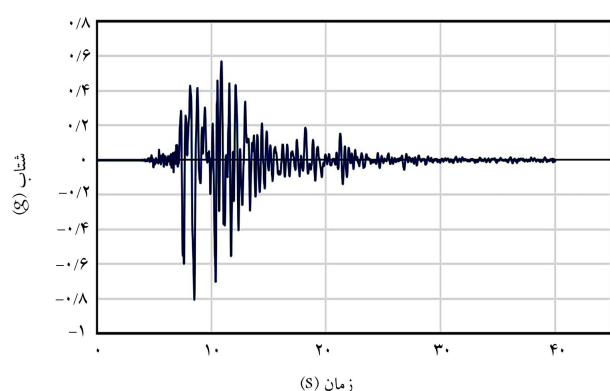
سازه در دو جهت دارای سیستم (قاب خمشی بتن مسلح متوسط و دیوار برشی بتن مسلح ویژه) بوده است. ضریب رفتار سازه برابر با ۶/۵، ضریب بزرگنمایی تغییرمکان ۵ و ضریب اضافه مقاومت ۲/۵ بوده است. برای طراحی سازه‌ها در نرم‌افزار ایتبس از تحلیل دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی استفاده شده است. مطابق با بند ۱۳.۵.۲ آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، روش مذکور برای کلیه‌ی سازه‌ها مناسب است. در واقع، روش تحلیل دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی، محاسبه‌ی لحظه به لحظه‌ی بازتاب‌های ساختمان تحت تأثیر شتاب‌نگاشت‌های واقعی زلزله است. بنابراین در انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها باید سعی شود تا حد امکان حرکت واقعی زمین در محل احداث ساختمان شبیه‌سازی شود. آیین‌نامه‌ی استاندارد ۲۸۰۰ در بند ۳.۵.۲ صفحه‌ی ۲۲، الزامات خاصی را در نظر گرفته است تا هدف مذکور محقق شود.

- دست‌کم سه زوج شتاب‌نگاشت متعلق به مؤلفه‌های افقی سه زلزله‌ی مختلف برای انجام تحلیل لازم است.
- شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده باید شرایط زلزله‌ی طرح را ارضاء کنند.
- ساختگاه‌های شتاب‌نگاشت‌ها باید به لحاظ ویژگی‌های زمین‌شناسی، لرزه‌شناسی، و به خصوص مشخصات لایه‌های خاک با زمین محل ساختمان تا حد امکان مشابهت داشته باشند.

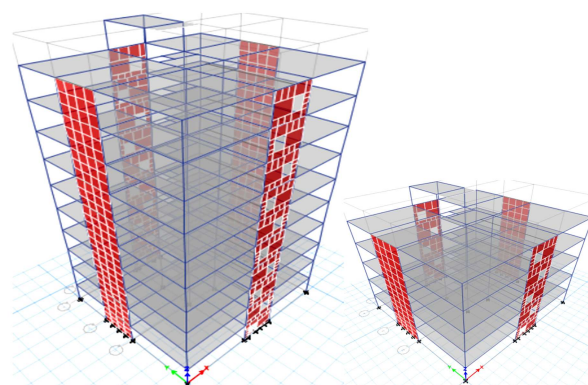
مطابق با بند ۲.۴.۳ صفحه‌ی ۴۴ آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰، در روش تحلیل دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی با اثر دادن شتاب زمین به صورت تابعی از زمان و محاسبات پاسخ مدل ریاضی با فرض رفتار خطی و نسبت میرایی ۵٪ انجام شده است. شتاب‌نگاشت‌های هم‌پایه‌سازی شده در دو جهت عمود بر یکدیگر در امتدادهای اصلی سازه بر آن اثر داده شده است. پس از انجام تحلیل برای زوج شتاب‌نگاشت، مقدار بیشینه‌ی برش پایه، تلاش اعضا و جابه‌جایی نسبی طبقات تعیین و در صورتی که مقدار بیشینه‌ی برش پایه‌ی حاصل از تحلیل (V_i) کمتر از مقدار برش پایه‌ی استاتیکی (V_u) معادل باشد، تلاش‌های اعضا و جابه‌جایی نسبی طبقات باید مجدداً در نسبت $\frac{V_u}{V_i}$ ضرب شوند.^[۱۴] با توجه به اینکه سه زوج شتاب‌نگاشت برای تحلیل در نظر گرفته شده است، تلاش طراحی اعضا و جابه‌جایی نسبی طراحی برابر با بیشینه‌ی مقدار آن‌ها در تحلیل در نظر گرفته شده است. لذا ساختمان‌ها از نظر طراحی لرزه‌ی، محافظه‌کارانه طراحی شده‌اند. مشخصات دیوارهای برشی و اجزاء مرزی برای مدل‌ها در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. همچنین طول دیوار برشی در هر دو مدل برابر با ۴ متر بوده است. در نهایت، دیوار برشی در دو مدل ۵ و ۱۰ طبقه با مشخصات جدول‌های اخیر، در نرم‌افزار آباکوس^{۱۰} مدل‌سازی شده است.



شکل ۲. رکورد زلزله‌ی نورث‌ریج.



شکل ۳. رکورد زلزله‌ی کوبه.

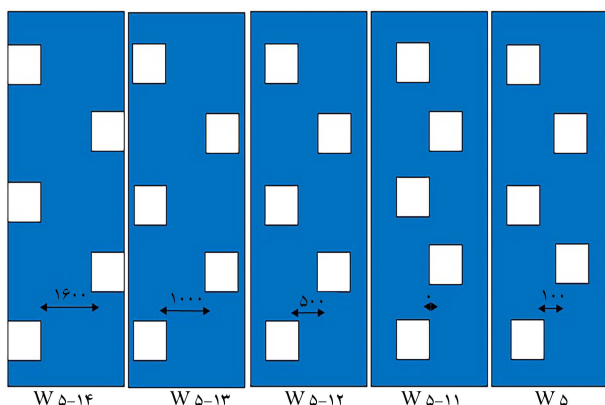


شکل ۴. طراحی سازه‌های ۵ و ۱۰ طبقه در نرم‌افزار ایتبس.

۲.۲. طراحی سازه در نرم‌افزار ایتبس

نرم‌افزار ایتبس^۹، نرم‌افزاری جهت تحلیل و طراحی سازه‌های ساختمانی است. تمام المان‌های یک ساختمان برای برنامه، شناخته شده هستند. پردازنده‌های طراحی برنامه بسیار کامل و قادر به مدل کردن تمام المان‌های ساختمان هستند. همان‌طور که قبلاً ذکر شده است، در پژوهش حاضر از دو مدل با تعداد طبقات ۵ و ۱۰ استفاده شده است. پلان استفاده شده در مدل‌ها یکسان و به صورت منظم است. سازه‌ها به صورت سه بعدی در نرم‌افزار ایتبس مطابق با شکل ۴ طراحی شده‌اند.

فرض شده است که سازه‌های موردنظر در شهری با لرزه‌خیزی خیلی زیاد، مانند تهران تأسیس شده‌اند. ارتفاع طبقات در هر دو مدل ۳/۲ متر است. نوع زمین منطقه از نوع II، شتاب مبنای طرح ۳۵/۰ و ضریب اهمیت سازه ۱ بوده است.



شکل ۵. هندسه‌ی کلی نمونه‌ها در نرم‌افزار آباکوس.

وزن سازه) و بررسی مودهای مؤثر، ضرایب آلفا و بتا از روابط رایلی ریتز به دست آمده است (روابط ۱ الی ۴):^[۱۶] قبل از اعمال شتاب زلزله به مدل‌ها، یک تحلیل استاتیکی برای در نظر گرفتن وزن سازه‌ها انجام و سپس شتاب زلزله به مدل‌ها اعمال شده است.

$$C = \alpha [m] + \beta [K] \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{matrix} \alpha \\ \beta \end{matrix} \right\} = \frac{\omega_m \omega_n}{\omega_m^2 - \omega_n^2} \begin{bmatrix} \omega_n & -\omega_m \\ -\frac{1}{\omega_n} & \frac{1}{\omega_m} \end{bmatrix} \left\{ \begin{matrix} \xi_m \\ \xi_n \end{matrix} \right\} \quad (2)$$

$$\xi_m = \xi_n = \xi = \%$$

$$\left\{ \begin{matrix} \alpha \\ \beta \end{matrix} \right\} = \frac{2\xi}{\omega_m + \omega_n} \begin{bmatrix} \omega_m \omega_n \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (4)$$

۳. فاصله‌ی افقی دو گشودگی نسبت به یکدیگر

وجود گشودگی در دیوارهای برشی بتن مسلح باعث ایجاد ناپوستگی در میلگردگذاری می‌شود که همین امر باعث ایجاد تمرکز تنش در نواحی اطراف گشودگی و ایجاد ترک‌های زودرس می‌شود. با توجه به مطالب گفته شده این‌طور به نظر می‌رسد که فاصله‌ی افقی دو گشودگی از یکدیگر پارامتری تأثیرگذار است. به همین منظور، ۵ نمونه مطابق با شکل ۵ با نسبت متفاوت فاصله‌ی افقی دو گشودگی به طول دیوار برشی در مدل‌های ۵ و ۱۰ طبقه در نرم‌افزار آباکوس شبیه‌سازی و مشخصات نمونه‌ها در جدول ۶ ارائه شده است. W5 مدل اصلی در نمونه‌ی ۵ طبقه و W10 مدل اصلی در نمونه‌ی ۱۰ طبقه است. لازم به ذکر است برای نشان دادن هندسه‌ی کلی دیوارها در نوشتار حاضر، مانند شکل ۵، با توجه به یکسان بودن هندسه‌ی گشودگی‌ها در مدل‌های ۵ و ۱۰ طبقه و عدم تکرار شکل‌ها، فقط از مدل ۵ طبقه استفاده شده است.

۱.۳. مدل ۵ طبقه

مطابق با شکل‌های ۶ الی ۸، پارامتر فاصله‌ی افقی دو گشودگی از یکدیگر با توجه به بحرانی بودن نواحی قطری میان دو گشودگی، در برش پایه، تغییر مکان نسبی و انرژی جذب شده‌ی مدل ۵ طبقه تأثیرگذار بوده و با دور شدن گشودگی‌ها از یکدیگر افزایش پیدا کرده‌اند. در نمونه‌ی W5-14، با نسبت فاصله‌ی افقی دو گشودگی به طول دیوار

جدول ۳. مشخصات دیوار برشی مدل ۱۰ طبقه.

طبقه	ضخامت (mm)	ابعاد (mm)	
		گشودگی	اجزای مرزی
۱	۵۰۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	۶۵۰ × ۶۵۰
۲	۵۰۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	۶۵۰ × ۶۵۰
۳	۴۵۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	۶۰۰ × ۶۰۰
۴	۴۵۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	۶۰۰ × ۶۰۰
۵	۴۰۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	۵۵۰ × ۵۵۰
۶	۴۰۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	۵۵۰ × ۵۵۰
۷	۳۵۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	۵۰۰ × ۵۰۰
۸	۳۵۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	۵۰۰ × ۵۰۰
۹	۳۰۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	۴۵۰ × ۴۵۰
۱۰	۳۰۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	۴۵۰ × ۴۵۰

جدول ۴. مشخصات بتن مصرفی.

مدول کشسانی (kN/mm^2)	مقاومت ۲۸ روزه (MPa)
۲۸	۳۰

جدول ۵. مشخصات میلگرد مصرفی.

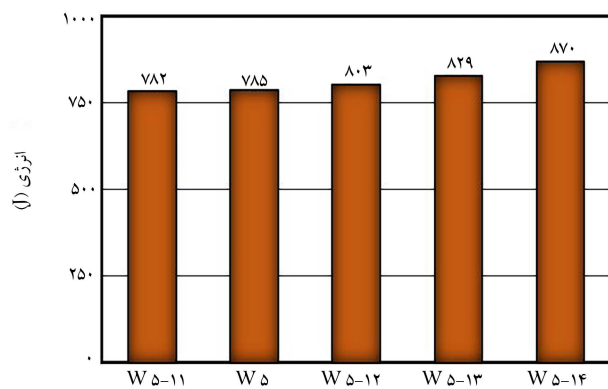
مدول کشسانی (kN/mm^2)	مقاومت تسلیم متوسط (MPa)
۲۰۰	۶۰۰

۳.۲. مدل‌سازی عددی

برای مدل‌سازی دیوارهای برشی با گشودگی نامنظم از نرم‌افزار آباکوس نسخه‌ی ۱۶/۰ استفاده شده است. برای تعیین مدل رفتاری مواد از مدل خسارت خمیری لوبلیتر^[۱۱] و همکاران (۱۹۸۹) استفاده شده است که در ادامه معرفی شده است. سطح تسلیمی معرفی شده در مدل خسارت خمیری لوبلیتر، آثار کاهش سختی را در هر دو حالت ارتجاعی و خمیری به درستی اعمال کرده و تطابق مناسبی با نتایج آزمایشگاهی داشته است. عملکرد اصلی روش مذکور، گسیختگی حاکم بر خردشدگی بتن در فشار و ترک‌خوردگی آن در کشش است. به‌طور کلی می‌توان مشخصه‌های مدل‌های مبتنی بر مدل خسارت خمیری را به این شرح بیان کرد:^[۱۵]

- معرفی یک معیار تسلیم برای شروع تغییر شکل‌های خمیری؛
- معرفی قانون سخت‌شدگی و نرم‌شدگی برای تکامل وضعیت سطح تسلیم؛
- معرفی قانون جریان برای تعیین نمو کرنش خمیری؛
- معرفی پارامتر خسارت برای تعیین وضعیت آسیب‌دیدگی المان بتن مسلح.

مشخصات مصالح (بتن و میلگرد) در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. در این تحقیق از تکنیک مش بندی Structured استفاده شده است. این تکنیک با استفاده از Mesh Topologyهای از پیش تعریف شده، مش ایجاد می‌کند. مدل‌سازی آرماتورها با استفاده از المان‌های تیر دوگره‌یی مرتبه‌ی اول B31 و مدل‌سازی بتن با استفاده از المان‌های سه‌بعدی محیط پیوسته‌ی C3D8R انجام شده است. المان C3D8R، هشت گره و در هر گره، سه درجه آزادی انتقالی دارد و حرف R در نام‌گذاری المان، نشان‌دهنده‌ی استفاده از انتگرال‌گیری کاهش‌یافته برای افزایش سرعت تحلیل است. تحلیل مورد نظر دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی است. لذا برای به‌دست آوردن ماتریس میرایی، ابتدا با تحلیل بسامدی (تحلیل ناشی از



شکل ۸. نمودار بیشینه انرژی جذب شده در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.

شده دیوار نیز افزایش پیدا کرده است. همچنین در شکل ۹، مقدار تنش شکل‌گرفته در نمونه‌ها مشاهده می‌شود، که مطابق آن با افزایش فاصله‌ی افقی دو گشودگی و هنگامی که گشودگی‌ها در لبه‌ی دیوار قرار داشته‌اند، تنش در نواحی قطری میان دو گشودگی و نواحی کناری گشودگی به علت از بین رفتن نواحی مرزی افزایش پیدا کرده است. همچنین در نمونه‌ی W5-12، با طول پایه‌ی دیوار کناری برابر با دیوار میانی گشودگی برش پایه نسبت به نمونه‌ی اصلی (W5) افزایش پیدا کرده و تغییرمکان نسبی ثابت مانده است. همچنین توزیع تنش نیز تغییر چندانی نداشته است.

۲.۳. مدل ۱۰ طبقه

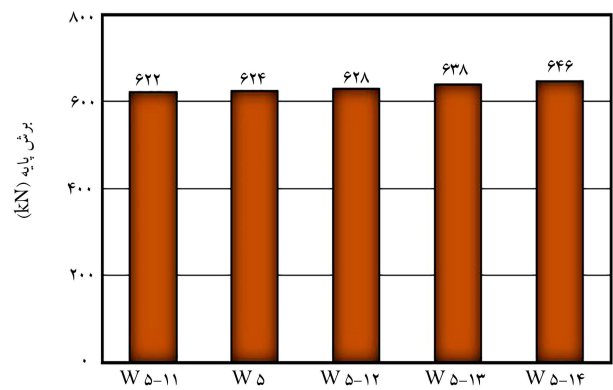
همان‌طور که در نمودار بیشینه‌ی برش پایه در شکل ۱۰ و تغییرمکان نسبی در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، برخلاف مدل ۵ طبقه که با نزدیک شدن گشودگی به لبه‌ی دیوار، برش پایه دیوار تغییر چندانی نکرده است، در مدل ۱۰ طبقه با افزایش نسبت فاصله‌ی افقی دو گشودگی به طول دیوار، برش پایه در نمونه‌های W10-12 و W10-13 نسبت به نمونه‌ی W10-11 افزایش بیشتری داشته است. این روند افزایشی در نمونه‌ی W10-14 با گشودگی در لبه‌ی کناری دیوار به ۱۸/۵٪ رسیده است. همچنین تغییرمکان نسبی ۱۴٪ و انرژی جذب شده نیز مطابق شکل ۱۲، ۱۵/۹٪ نسبت به نمونه‌ی اصلی افزایش داشته است. با توجه به شکل ۱۳ که در آن تنش شکل‌گرفته در نمونه‌ها مشاهده می‌شود، با حرکت گشودگی به سمت لبه‌ی دیوار همانند مدل ۵ طبقه، تنش در نواحی قطری میان دو گشودگی و نواحی کناری گشودگی به علت از بین رفتن نواحی مرزی افزایش پیدا کرده است. برش پایه در نمونه‌ی W10-12 که طول پایه‌ی دیوار قسمت کناری گشودگی برابر با قسمت میانی آن بوده است، نسبت به نمونه‌ی W10، ۴/۲٪ افزایش داشته است، در حالی که تغییرمکان نسبی ثابت مانده است. همچنین تنش شکل‌گرفته نیز نسبت به نمونه‌ی اصلی (W10) تغییر چندانی نکرده است. با توجه به مطالب گفته شده‌ی اخیر، با افزایش تعداد طبقات، تغییر فاصله‌ی افقی دو گشودگی، تأثیر بیشتری در نمونه‌ها داشته است.

۴. اثر گشودگی در پای دیوار

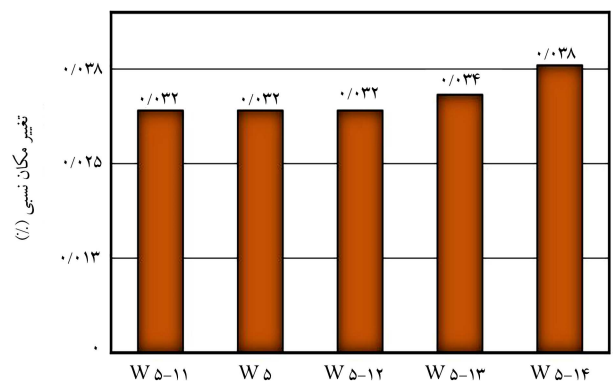
گاهی به دلیل وجود فضای پارکینگ در ساختمان به ناچار گشودگی‌هایی در قسمت تحتانی دیوار ایجاد می‌شود که ممکن است به دلیل تحت فشار بودن دیوار در قسمت‌های تحتانی، تأثیر آن بحرانی‌تر از حالتی باشد که گشودگی در سایر نقاط دیوار قرار می‌گیرد. در دیوارهای مذکور، نمونه‌ی دارای گشودگی در پای دیوار، نمونه‌ی دیگر

جدول ۶. مشخصات نمونه‌های شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار آباکوس.

مدل	نسبت فاصله‌ی افقی دو گشودگی به طول دیوار	ابعاد گشودگی (mm)
W5 W10	۰/۰۲۵	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰
W5-11 W10-11	۰	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰
W5-12 W10-12	۰/۱۳۷	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰
W5-13 W10-13	۰/۲۵	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰
W5-14 W10-14	۰/۴	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰

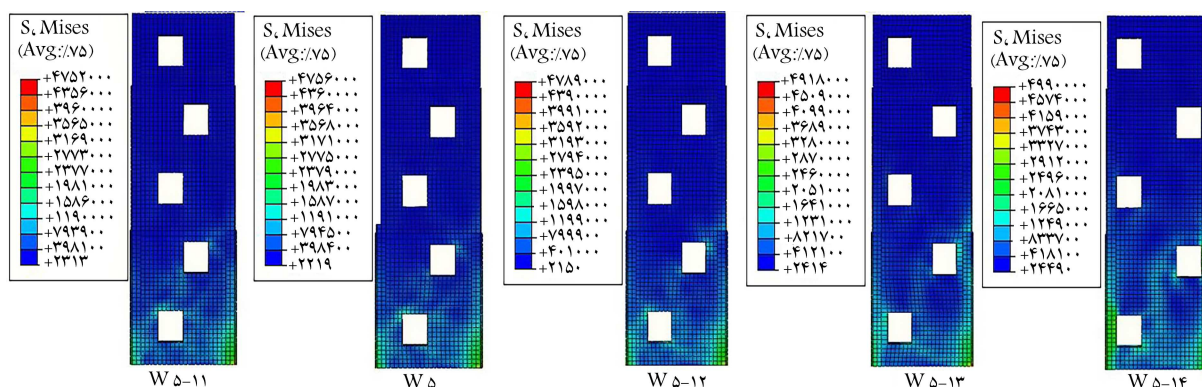


شکل ۶. نمودار بیشینه‌ی برش پایه در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.



شکل ۷. نمودار تغییرمکان نسبی در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.

برشی برابر ۰/۴ با گشودگی در لبه‌ی دیوار، برش پایه‌ی ۳/۵٪، تغییرمکان نسبی ۱۸/۷٪ و انرژی جذب شده‌ی ۱۰/۸٪ نسبت به نمونه‌ی W5-11 که فاصله‌ی افقی دو گشودگی برابر با صفر است، افزایش داشته است. افزایش انرژی جذب شده صحنه بر این نکته می‌گذارد که انرژی جذب شده رابطه‌ی مستقیمی با مساحت زیر نمودار نیرو - تغییرمکان داشته و با افزایش پارامتر برش پایه و تغییرمکان، انرژی جذب



شکل ۹. توزیع تنش شکل گرفته در نمونه‌ها.

فاقد گشودگی در طبقه اول، و نمونه‌های اصلی ($W5$ و $W10$) دارای گشودگی با فاصله‌ی ۱ متر از پای دیوار بوده‌اند. ابعاد گشودگی‌ها در هر سه حالت به نحوی تعبیه شده است که مجموع مساحت آن‌ها با یکدیگر برابر باشد. نمونه‌های طراحی شده برای بررسی اثر گشودگی در پای دیوار در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود.

۱.۴. مدل ۵ طبقه

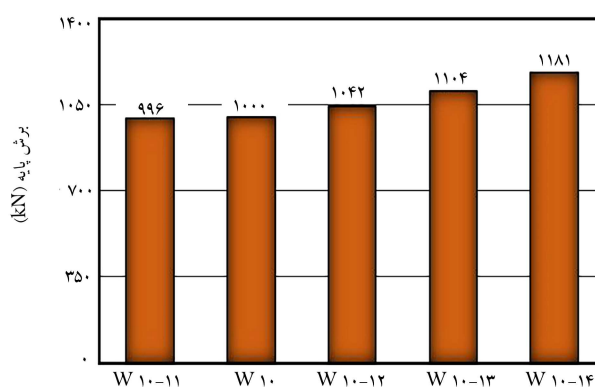
با توجه به شکل ۱۵، نمونه با گشودگی در پای دیوار ($W5-21$)، نسبت به نمونه‌ی اصلی دچار ۸/۱۰٪ کاهش در برش پایه شده است. کاهش در برش پایه می‌تواند به این علت باشد که با قرار گرفتن گشودگی در پای دیوار، بتن کمتری از دیوار تحت فشار قرار گرفته است، لذا برش پایه‌ی نمونه $W5-21$ با کاهش همراه بوده است. مطابق با شکل ۱۶، تغییرمکان نسبی نمونه با گشودگی در پای دیوار تفاوتی نسبت به نمونه با فاصله‌ی گشودگی ۱ متر از پای دیوار نداشته است. با حذف گشودگی در طبقه‌ی اول، برش پایه نسبت به نمونه‌ی اصلی، ۳/۴٪ افزایش و تغییرمکان نسبی ۴/۹٪ کاهش پیدا کرده است. همچنین در شکل ۱۷، نمودار برش پایه - زمان نمونه‌ها مشاهده می‌شود.

۲.۴. مدل ۱۰ طبقه

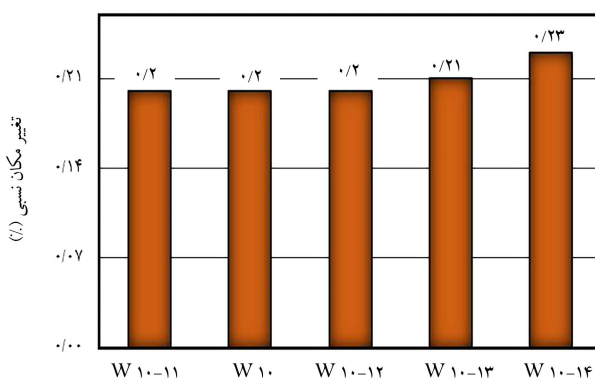
مطابق با شکل ۱۸، نمونه با گشودگی در پای دیوار ($W10-21$)، ۳۵٪ کاهش در برش پایه نسبت به نمونه‌ی اصلی نشان می‌دهد. کاهش مذکور در برش پایه، تقریباً سه برابر کاهش برش پایه در مدل ۵ طبقه است. که می‌تواند به این دلیل باشد که در دیوار ۱۰ طبقه، قسمت تحتانی دیوار نسبت به مدل ۵ طبقه بیشتر تحت فشار بوده و ایجاد گشودگی در قسمت مذکور به مراتب تأثیر بیشتری داشته است که نشان از بحرانی بودن گشودگی در پای دیوار است. همچنین برش پایه در نمونه‌ی بدون گشودگی در طبقه‌ی اول ($W10-22$)، تغییر چندانی نسبت به نمونه با فاصله‌ی گشودگی ۱ متر از پای دیوار ($W10$) نداشته است. در شکل ۱۹، نمودار تغییرمکان نسبی نمونه‌ها مشاهده می‌شود که مطابق آن، هر سه نمونه در مدل ۱۰ طبقه، تقریباً مقدار یکسانی از تغییرمکان نسبی داشته‌اند. همچنین در شکل ۲۰، نمودار برش پایه - زمان نمونه‌ها مشاهده می‌شود.

۵. تغییر عرض گشودگی

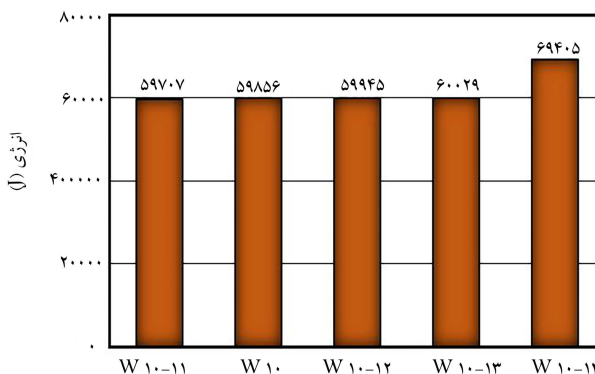
پارامتر مورد بررسی در بخش حاضر، بررسی اثر تغییر عرض گشودگی است. به همین



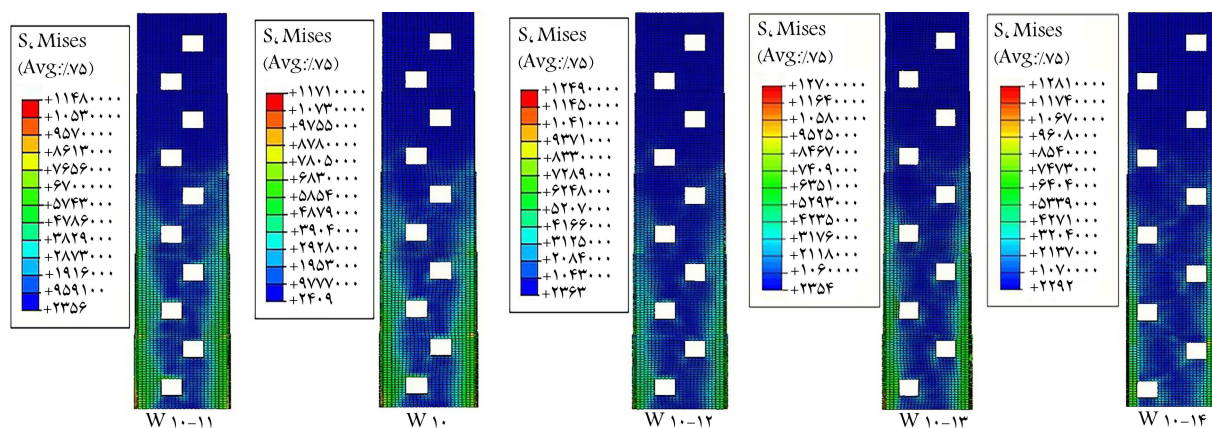
شکل ۱۰. نمودار بیشینه‌ی برش پایه در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.



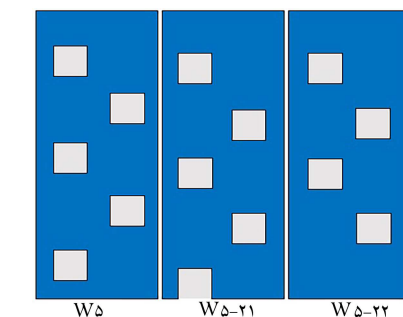
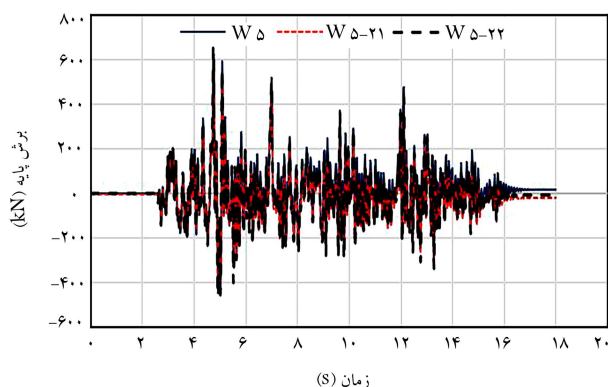
شکل ۱۱. نمودار تغییرمکان نسبی در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.



شکل ۱۲. نمودار بیشینه‌ی انرژی جذب شده در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.

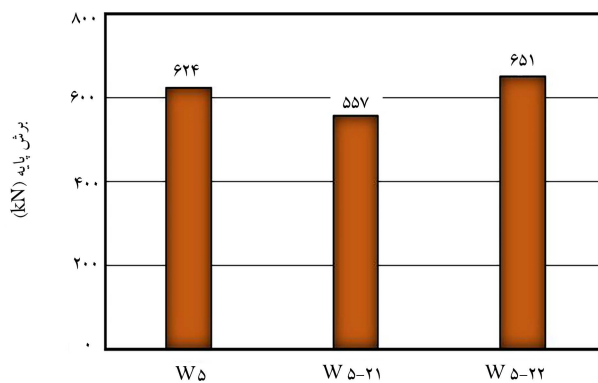
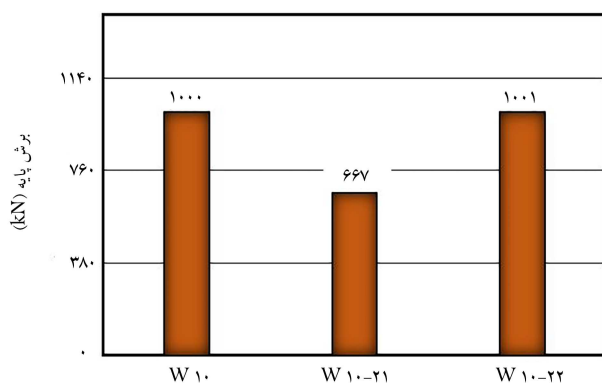


شکل ۱۳. توزیع تنش شکل گرفته در نمونه‌ها.



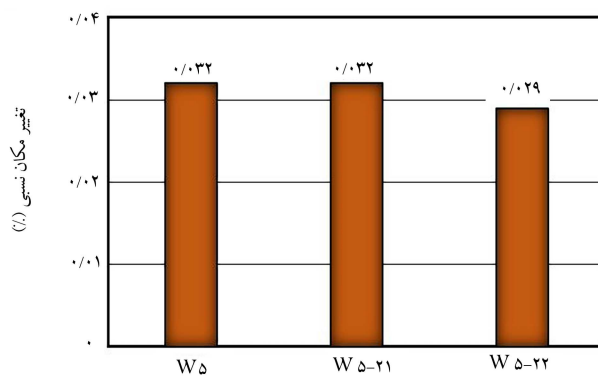
شکل ۱۴. هندسه کلی نمونه‌ها در نرم افزار آباکوس.

شکل ۱۷. نمودار برش پایه - زمان در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.



شکل ۱۵. نمودار بیشینه برش پایه در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.

شکل ۱۸. نمودار بیشینه برش پایه در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.



شکل ۱۶. نمودار تغییرمکان نسبی در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.

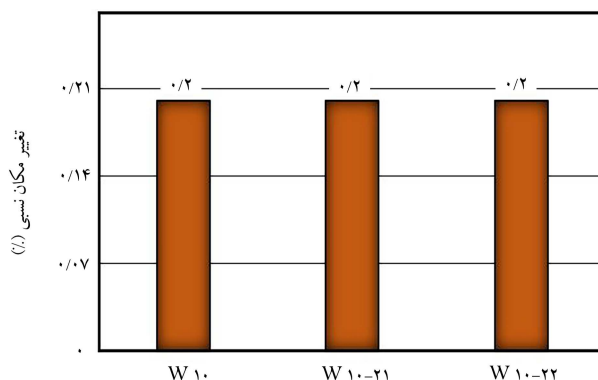
منظور ۶ نمونه با نسبت عرض گشودگی به طول دیوار برشی متفاوت در مدل‌های ۵ و ۱۰ طبقه در نظر گرفته شده است. مشخصات نمونه‌ها در جدول ۷ ارائه شده است. همچنین هندسه‌ی در نظر گرفته شده برای آن‌ها در شکل ۲۱ مشاهده می‌شود.

۱.۵. مدل ۵ طبقه

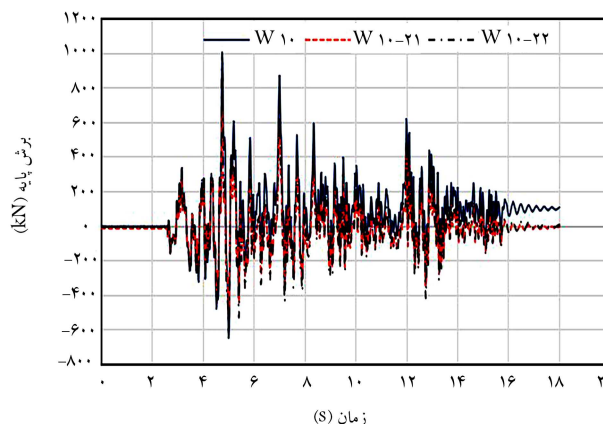
با توجه به شکل ۲۲، با افزایش عرض و به پیروی از آن مساحت گشودگی، برش پایه‌ی سیستم کاهش پیدا کرده است. در مقایسه‌ی مدل W5 که نمونه‌ی با نسبت عرض گشودگی به طول دیوار برابر با ۳/۰ است، با کاهش ۵۰ درصدی در نسبت اخیر، برش پایه در نمونه‌ی W5-31، ۶/۷٪ افزایش پیدا کرده است. همچنین با افزایش

جدول ۷. مشخصات نمونه‌های شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار آباکوس.

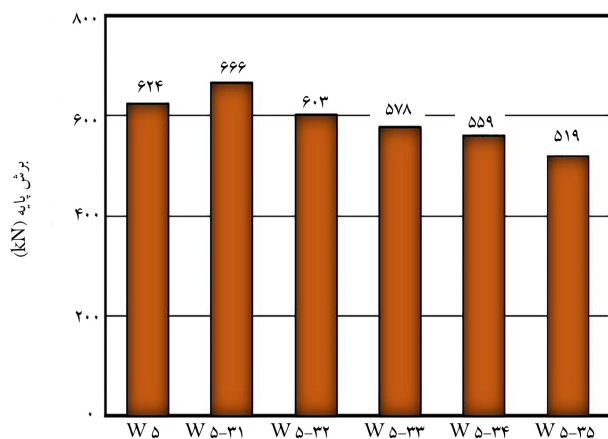
مدل	نسبت عرض به طول دیوار	ابعاد (mm)	گشودگی
W5 W10	۰/۳	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰	
W5-۳۱ W10-۳۱	۰/۱۵	۱۴۵۰ × ۶۰۰	
W5-۳۲ W10-۳۲	۰/۳۷	۱۴۵۰ × ۱۵۰۰	
W5-۳۳ W10-۳۳	۰/۴۵	۱۴۵۰ × ۱۸۰۰	
W5-۳۴ W10-۳۴	۰/۵	۱۴۵۰ × ۲۰۰۰	
W5-۳۵ W10-۳۵	۰/۶۶	۱۴۵۰ × ۲۶۵۰	



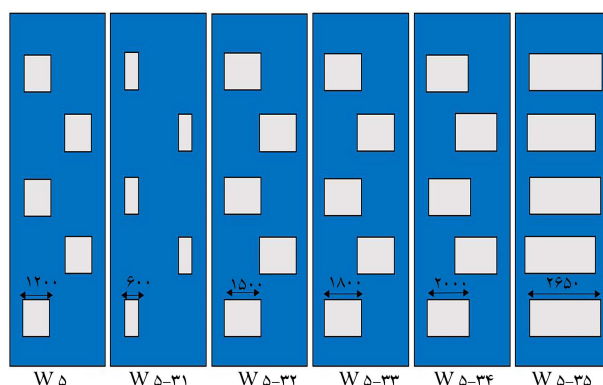
شکل ۱۹. نمودار تغییر مکان نسبی در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.



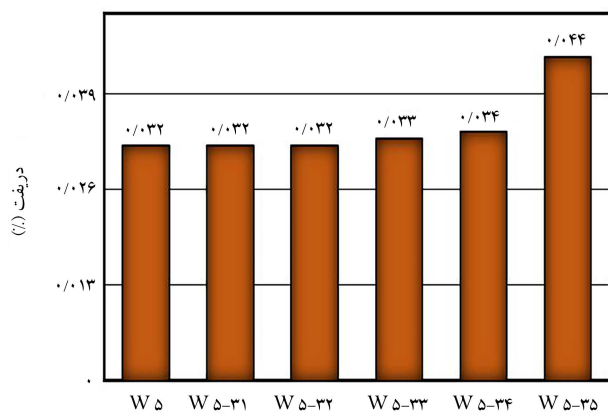
شکل ۲۰. نمودار برش پایه - زمان در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.



شکل ۲۲. نمودار بیشینه‌ی برش پایه در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.



شکل ۲۱. هندسه‌ی کلی نمونه‌ها در نرم‌افزار آباکوس.

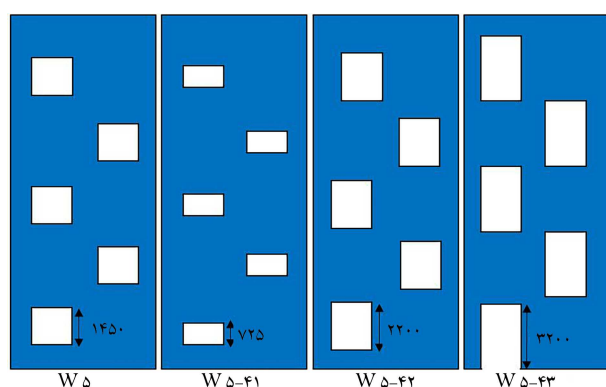


شکل ۲۳. نمودار تغییر مکان نسبی در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.

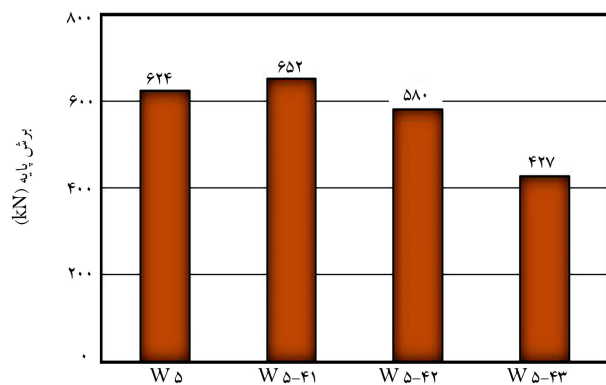
۵ درصدی نسبت عرض گشودگی به طول دیوار، برش پایه ۷/۴٪ کاهش داشته است. برش پایه در نمونه‌ی W5-۳۵ با نسبت عرض گشودگی به طول دیوار برشی برابر ۰/۶۶ که دارای مقدار بیشینه بین نمونه‌ها بوده و عرض گشودگی تا ناحیه‌ی مرزی دیوار کشیده شده است، برش پایه‌ی سیستم نسبت به نمونه‌ی W5، ۱۶/۹٪ کاهش داشته است. در شکل ۲۳، تغییر مکان نسبی نمونه‌ها مشاهده می‌شود که مطابق آن، تغییر مکان نسبی در سه نمونه‌ی W5، W5-۳۱ و W5-۳۲ با نسبت عرض گشودگی به طول دیوار برابر با ۰/۳، ۰/۱۵ و ۰/۳۷ با یکدیگر برابر بوده است. به عبارت دیگر، تغییر مکان نسبی در سه نمونه‌ی مذکور با افزایش عرض گشودگی تغییری نکرده است. همچنین در نمونه‌ی W5-۳۵ با بیشترین عرض گشودگی نسبت به نمونه‌ی W5، نمودار تغییر مکان نسبی ۳۷/۵٪ افزایش را نشان می‌دهد.

جدول ۸. مشخصات نمونه‌های شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار آباکوس.

مدل	گشودگی	
	نسبت ارتفاع به ارتفاع دیوار	ابعاد (mm)
W۵ W۱۰	۰/۴۵	۱۴۵۰ × ۱۲۰۰
W۵-۴۱ W۱۰-۴۱	۰/۲۲	۷۲۵ × ۱۲۰۰
W۵-۴۲ W۱۰-۴۲	۰/۶۹	۲۲۰۰ × ۱۲۰۰
W۵-۴۳ W۱۰-۴۳	۱	۳۲۰۰ × ۱۲۰۰



شکل ۲۶. هندسه کلی نمونه‌ها در نرم‌افزار آباکوس.

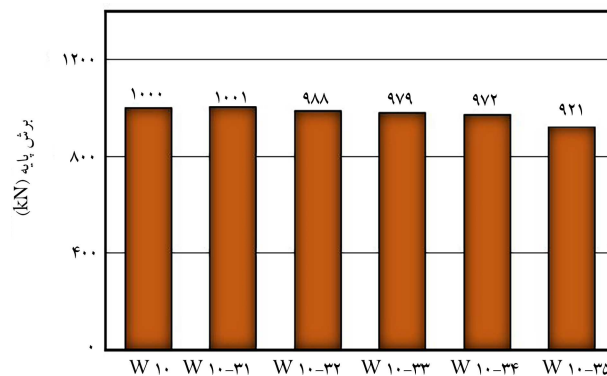


شکل ۲۷. نمودار بیشینه‌ی برش پایه در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.

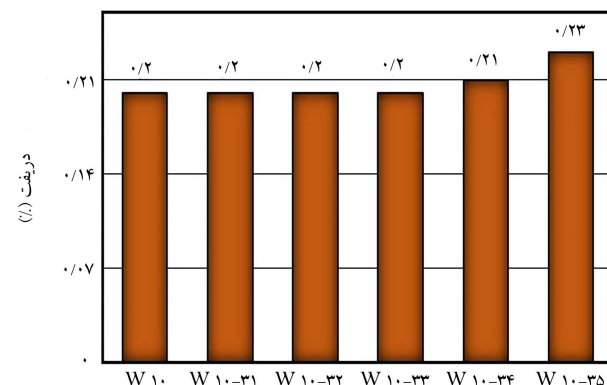
در جدول ۸ ارائه شده است و هندسه کلی آن‌ها در نرم‌افزار آباکوس در شکل ۲۶ مشاهده می‌شود.

۱.۶. مدل ۵ طبقه

با توجه به شکل ۲۷، با افزایش ارتفاع گشودگی، کاهش برش پایه در نمونه‌ها اتفاق افتاده است. مدل W۵-۴۱ با نسبت ارتفاع گشودگی به ارتفاع طبقه مساوی با ۰/۲۲، نسبت به نمونه‌ی W۵ با ارتفاع گشودگی به ارتفاع طبقه مساوی با ۰/۴۵، ۴/۴٪ افزایش در برش پایه داشته است. همچنین در مدل W۵-۴۲



شکل ۲۴. نمودار بیشینه‌ی برش پایه در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.



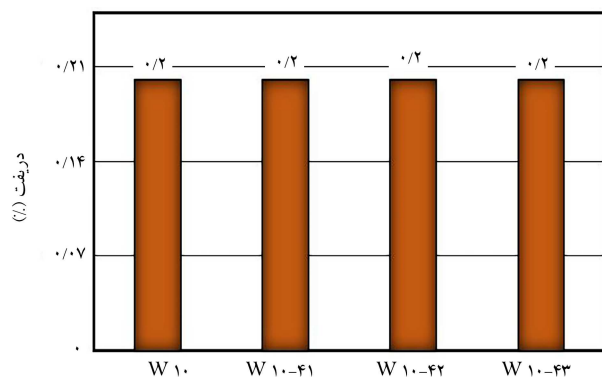
شکل ۲۵. نمودار تغییر مکان نسبی در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.

۲.۵. مدل ۱۰ طبقه

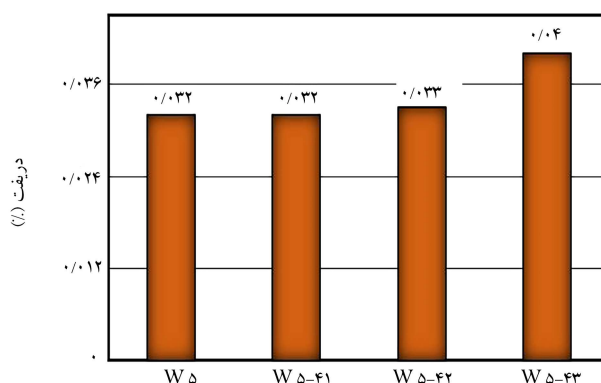
با توجه به شکل ۲۴ که بیشینه‌ی برش پایه را نشان می‌دهد، با افزایش عرض گشودگی، برش پایه‌ی سیستم کاهش پیدا کرده است. در مقایسه، مدل W۱۰ با نسبت عرض گشودگی به طول دیوار ۰/۳، با نمونه‌ی W۱۰-۳۱ علی‌رغم کاهش ۵٪ درصدی در نسبت اخیر، برش پایه تفاوت چندانی نکرده است. همچنین با افزایش ۵٪ درصدی نسبت عرض گشودگی به طول دیوار، برش پایه ۲/۱٪ کاهش داشته است. در نمونه‌ی W۱۰-۳۵ با نسبت عرض گشودگی به طول دیوار برشی بیشینه‌ی ۰/۶۶، برش پایه‌ی سیستم نسبت به نمونه‌ی W۱۰، برخلاف مدل ۵ طبقه که ۱۶/۹٪ اختلاف با یکدیگر داشتند، ۷/۹٪ اختلاف را نشان داده است. به‌طور کلی در این قسمت مشخص شد که در دیوار برشی با گشودگی نامنظم در مدل ۱۰ طبقه، پارامترهای در نظر گرفته شده با تغییر عرض گشودگی نسبت به مدل ۵ طبقه کمتر دچار تغییر شده‌اند. در شکل ۲۵، تغییر مکان نسبی نمونه‌ها مشاهده می‌شود، که مطابق آن، در نمونه با بیشترین عرض گشودگی، تغییر مکان نسبی نسبت به نمونه‌ی اصلی، ۱۵٪ افزایش داشته است. در حالی که تغییر مکان نسبی در سایر نمونه‌ها با افزایش عرض گشودگی تغییر چندانی نکرده است.

۶. تغییر ارتفاع گشودگی

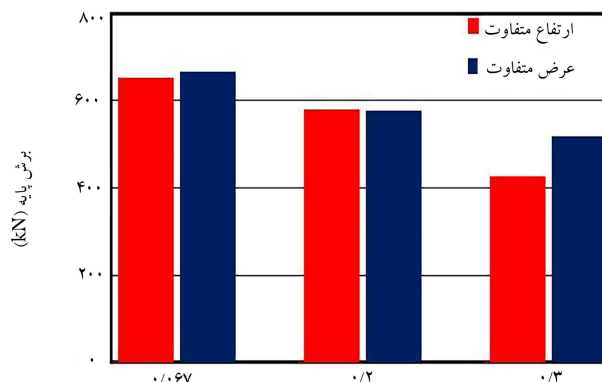
پارامتر مورد بررسی در بخش حاضر، تغییر نسبت ارتفاع گشودگی به ارتفاع دیوار طبقه است. به همین منظور، چهار نمونه با نسبت متفاوت ارتفاع گشودگی به ارتفاع دیوار طبقه در مدل‌های ۵ و ۱۰ طبقه در نظر گرفته شده است. مشخصات نمونه‌ها



شکل ۳۰. نمودار تغییر مکان نسبی در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.

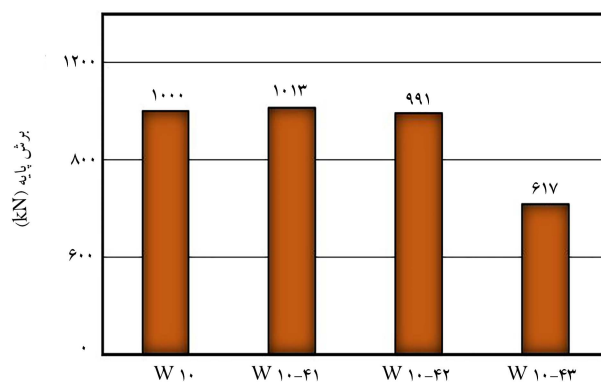


شکل ۲۸. نمودار تغییر مکان نسبی در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.



نسبت مساحت گشودگی به مساحت دیوار

شکل ۳۱. نمودار برش پایه - نسبت مساحت گشودگی به مساحت طبقه.



شکل ۲۹. نمودار پیش‌بینی برش پایه در نمونه‌های شبیه‌سازی شده.

علت بیشتر تحت فشار بودن پای دیوار، ایجاد گشودگی در ناحیه‌ی مذکور تأثیر بیشتری نسبت به مدل ۵ طبقه داشته است. در شکل ۳۰، تغییر مکان نسبی نمونه‌ها مشاهده می‌شود. برخلاف مدل ۵ طبقه، که نمودار مذکور روند صعودی دارد، در مدل ۱۰ طبقه مقدار تغییر مکان نسبی در تمام نمونه‌ها تقریباً با یکدیگر برابر است.

۷. نمونه‌ها با مساحت یکسان

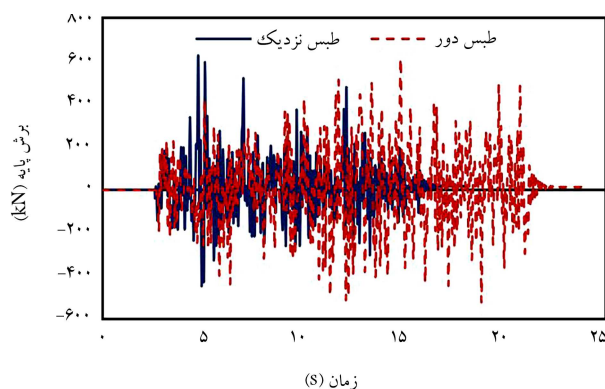
با توجه به تغییر برش پایه‌ی دیوار در اثر متغیرهای ذکر شده‌ی اخیر، در بخش حاضر به بررسی نحوه‌ی تغییرات برش پایه بین نمونه‌های با ارتفاع و عرض متفاوت با مساحت یکسان پرداخته شده است.

۱.۷. مدل ۵ طبقه

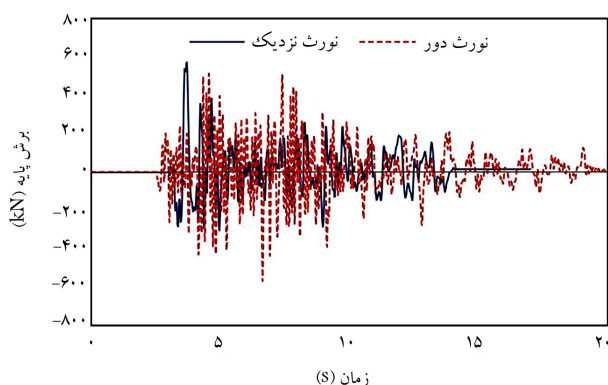
تغییرات برش پایه بر حسب نسبت مساحت گشودگی به مساحت دیوار در نمونه‌های با ارتفاع و عرض متفاوت در شکل ۳۱ مشاهده می‌شود. همان‌طور که قبلاً گفته شد، با افزایش مساحت گشودگی، برش پایه‌ی سیستم کاهش پیدا کرده است. در گشودگی ۶/۷٪ مساحت طبقه (W5-41 و W5-3) برش پایه‌ی دیوار در نمونه با ارتفاع گشودگی متفاوت، ۲٪ بیشتر از نمونه با عرض گشودگی متفاوت کاهش پیدا کرده است. همچنین در گشودگی ۲٪ مساحت طبقه (W5-42 و W5-33) کاهش برش پایه در دو نمونه یکسان است. این در حالی است که در گشودگی ۳۰٪ مساحت طبقه، کاهش برش پایه‌ی سیستم در نمونه W5-43 با ارتفاع گشودگی

۲.۶. مدل ۱۰ طبقه

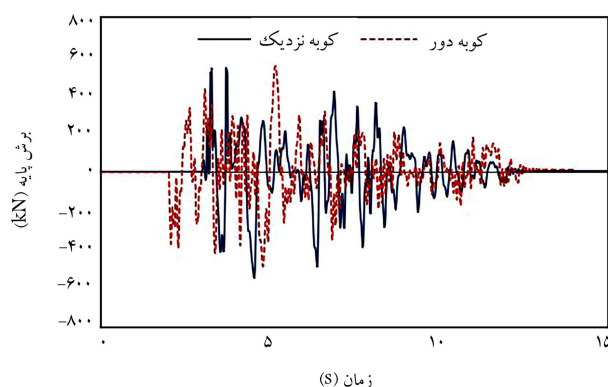
با توجه به شکل ۲۹، برخلاف مدل ۵ طبقه که با افزایش ارتفاع گشودگی برش پایه کاهش چشمگیری پیدا کرده است، در مدل ۱۰ طبقه بین سه نمونه W10، W10-41 و W10-42 تفاوت چندانی در برش پایه مشاهده نشده است. در مقایسه، نمونه W10-43 که نسبت ارتفاع گشودگی به ارتفاع طبقه برابر ۱ و نمونه W10 که نسبت ارتفاع گشودگی به ارتفاع طبقه برابر ۰/۴۵ بوده است، برش پایه‌ی دیوار ۳۸/۳٪ کاهش داشته است. مدل ۱۰ طبقه تا نسبت ارتفاع گشودگی به ارتفاع طبقه برابر ۰/۶۶، تغییرات کمتری نسبت به دیوار ۵ طبقه داشته است. اما هنگامی که ارتفاع گشودگی برابر با ارتفاع طبقه شده است، به



شکل ۳۳. نمودار برش پایه - زمان زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک و دور طیس.



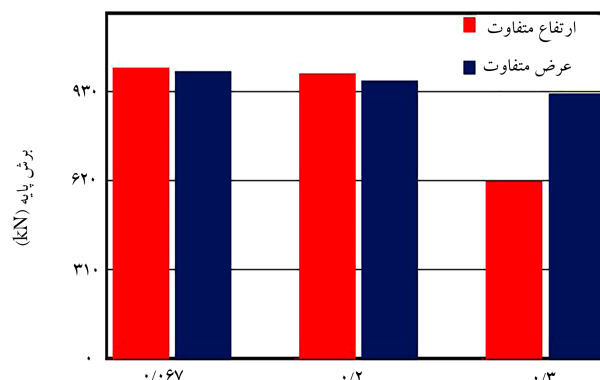
شکل ۳۴. نمودار برش پایه - زمان زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک و دور نورث ریج.



شکل ۳۵. نمودار برش پایه - زمان زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک و دور کوبه.

۱.۸. مدل ۵ طبقه

در شکل‌های ۳۳ الی ۳۵، نمودار برش پایه - زمان در مدل ۵ طبقه و شکل‌های ۳۶ الی ۳۸، نمودار برش پایه - زمان در مدل ۱۰ طبقه برای زلزله‌های نزدیک و دور از گسل مشاهده می‌شود. با توجه به خصوصیات رکوردهای حوزه‌ی نزدیک و دور مشاهده می‌شود که زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک گسل در ثانیه‌های ابتدایی، پالس بسیار قدرتمندتری نسبت به زلزله‌های دور از گسل دارند. بیشینه برش پایه در زلزله‌های نزدیک گسل بیشتر از زلزله‌های دور از گسل بوده است که بیشینه برش پایه‌ی مذکور در ثانیه‌های ابتدایی نمودار اتفاق افتاده است. همچنین در زلزله‌های دور از گسل، ساختمان مدت زمان بیشتری تحت پالس‌های رکورد قرار گرفته است.



نسبت مساحت گشودگی به مساحت دیوار

شکل ۳۲. نمودار برش پایه - نسبت مساحت گشودگی به مساحت طبقه.

جدول ۹. مشخصات زلزله‌های حوزه‌ی دور از گسل.

محل وقوع	سال	بیشینه‌ی شتاب زلزله (g)	بزرگا
طیس	۱۳۵۷	۰/۱۰۴	۷/۸
نورث ریج	۱۳۷۲	۰/۲۴۲	۶/۷
کوبه	۱۳۷۴	۰/۲۳۸	۶/۸

متفاوت، ۱۸٪ بیشتر از نمونه‌ی W۵-۳۵ با عرض گشودگی متفاوت است؛ در حالی که تغییر مکان نسبی دو نمونه تقریباً یکسان است. با توجه به نتایج گفته شده، گشودگی در ۳۰٪ مساحت طبقه که در یکی از مدل‌ها، ارتفاع گشودگی برابر با ارتفاع طبقه شده است، برش پایه در نمونه با عرض گشودگی متفاوت نسبت به نمونه با ارتفاع گشودگی متفاوت کاهش کمتری داشته است.

۲.۷. مدل ۱۰ طبقه

تغییرات برش پایه بر حسب نسبت مساحت گشودگی به مساحت طبقه در نمونه‌های با ارتفاع و عرض گشودگی متفاوت در شکل ۳۲ مشاهده می‌شود. همان‌طور که قبلاً گفته شد، با افزایش مساحت گشودگی برش پایه سیستم کاهش پیدا کرده است. در گشودگی ۶/۷٪ مساحت طبقه (W۱۰-۴۱ و W۱۰-۳۱) برش پایه‌ی دیوار در نمونه با عرض گشودگی متفاوت، ۱/۳٪ بیشتر از نمونه با ارتفاع گشودگی متفاوت کاهش پیدا کرده است. همچنین در گشودگی ۲۰٪ مساحت طبقه (W۱۰-۴۲ و W۱۰-۳۳) کاهش برش پایه مجدداً در نمونه با عرض گشودگی متفاوت، ۲/۴٪ بیشتر از نمونه با ارتفاع گشودگی متفاوت است. این در حالی است که در گشودگی ۳۰٪ مساحت طبقه، کاهش برش پایه‌ی سیستم در نمونه‌ی W۱۰-۴۳ با ارتفاع گشودگی متفاوت، ۳۳/۱٪ بیشتر از نمونه‌ی W۱۰-۳۵ با عرض گشودگی متفاوت است. با توجه به نتایج گفته شده همانند مدل ۵ طبقه گشودگی در ۳۰٪ مساحت طبقه که در یکی از مدل‌ها، ارتفاع گشودگی برابر با ارتفاع طبقه شده است، در نمونه با عرض گشودگی متفاوت نسبت به نمونه با ارتفاع گشودگی متفاوت برش پایه، کاهش کمتری داشته است.

۸. مقایسه‌ی زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک و دور

در بخش حاضر، به مقایسه‌ی زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک و دور در نمونه‌های W۱۰ و W۵ پرداخته شده است. مشخصات زلزله‌های حوزه‌ی دور از گسل در جدول ۹ ارائه شده است.

۹. نتیجه‌گیری

در نوشتار حاضر، برای درک جامعی از رفتار دیوار برشی با گشودگی نامنظم تحت زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک گسل، دو ساختمان ۵ و ۱۰ طبقه در نرم‌افزار ایتبس طراحی و دیوارهای برشی در نرم‌افزار آباکوس تحت بار زلزله‌ی طبسی مدل‌سازی و بررسی و نتایج حاصل به صورت جمع‌بندی ارائه شده است:

۱. فاصله‌ی افقی دو گشودگی از یکدیگر پارامتری تأثیرگذار در برش پایه، تغییرمکان نسبی و انرژی جذب شده‌ی دیوار برشی بتن مسلح با گشودگی نامنظم تحت زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک گسل است.

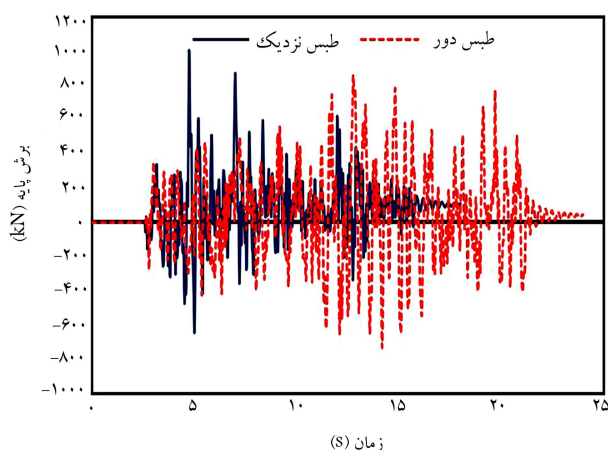
۲. با قرار گرفتن گشودگی در لبه‌ی دیوار در مدل ۵ طبقه، برش پایه برابر با ۳/۵٪ و تغییرمکان نسبی برابر با ۱۸/۷٪ افزایش یافته است. همچنین در مدل ۱۰ طبقه، برش پایه، ۱۸/۱٪ و تغییرمکان نسبی، ۴/۲٪ افزایش داشته است.

۳. در نمونه با طول پایه‌ی دیوارکنارگشودگی برابر با طول پایه‌ی دیوارمیانی گشودگی، تغییرمکان نسبی نسبت به نمونه‌ی اصلی در هر دو مدل ۵ و ۱۰ طبقه ثابت مانده است، در حالی که برش پایه افزایش پیدا کرده است.

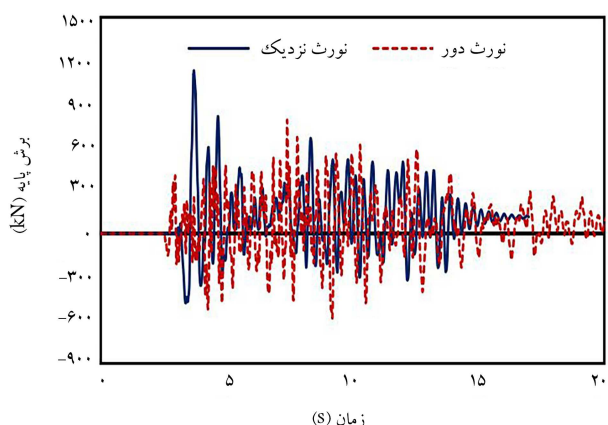
۴. با قرار گرفتن گشودگی در پای دیوار به دلیل از بین رفتن مساحت ناحیه‌ی تحت فشار، مشاهده شده است که در مدل ۵ طبقه، علی‌رغم ثابت بودن تغییرمکان نسبی، مقدار برش پایه برابر با ۱۲٪ کاهش داشته است؛ در حالی که در نمونه‌ی ۱۰ طبقه با توجه به ثابت بودن تغییرمکان نسبی، ۳۵٪ کاهش داشته است. حذف گشودگی در طبقه‌ی اول باعث شده است برش پایه در مدل ۵ طبقه، ۴/۳٪ افزایش و تغییرمکان نسبی، ۹/۴٪ کاهش داشته باشد. همچنین در مدل ۱۰ طبقه، حذف گشودگی از طبقه‌ی اول، تأثیر چندانی در برش پایه و تغییرمکان نسبی نداشته است.

۵. تغییر عرض و ارتفاع گشودگی‌ها، به غیر از مواردی که گشودگی در پای دیوار قرار گرفته است، تأثیر کمتری در برش پایه و تغییرمکان نسبی مدل ۱۰ طبقه نسبت به مدل ۵ طبقه داشته است.

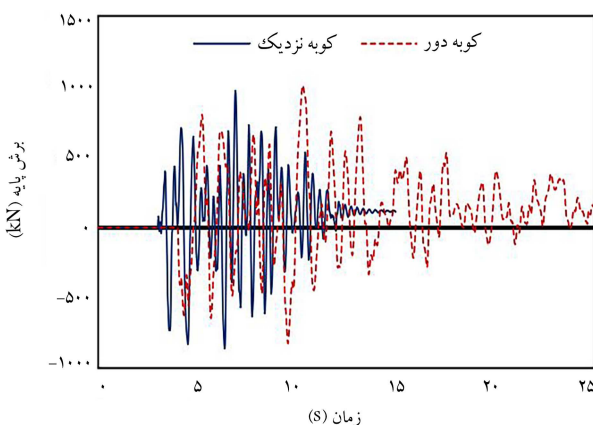
۶. با بررسی سه نسبت متفاوت مساحت گشودگی به مساحت طبقه مشخص شده است که در مدل ۵ طبقه در مساحت‌های ۶/۷٪ و ۳۰٪، نمونه‌های با عرض گشودگی متفاوت، برش پایه‌ی بیشتری نسبت به نمونه‌های با ارتفاع گشودگی متفاوت داشته‌اند. همچنین در مساحت ۲۰٪، برش پایه‌ی نمونه‌ها تغییر چندانی نکرده است. در مدل ۱۰ طبقه در مساحت ۶/۷٪ و ۲۰٪، نمونه‌های با ارتفاع گشودگی متفاوت، برش پایه‌ی بیشتری نسبت به نمونه‌های با عرض گشودگی متفاوت داشته‌اند. همچنین در مساحت ۳۰٪، برش پایه در نمونه با عرض گشودگی متفاوت، ۴۹٪ بیشتر از نمونه با ارتفاع گشودگی متفاوت بوده است.



شکل ۳۶. نمودار برش پایه - زمان زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک و دور طیس.



شکل ۳۷. نمودار برش پایه - زمان زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک و دور نورث‌ریج.



شکل ۳۸. نمودار برش پایه - زمان زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک و دور کوبه.

پانوشته‌ها

1. Mosoarca

2. Alarcon
3. Li
4. Mohan
5. Roshin

6. Shobha Ram
7. Anas
8. Gioncu & Mazzolani
9. ETABS
10. Abaqus
11. Lubliner

منابع (References)

1. Mosoarca, M. and Stoian, V. "Seismic energy dissipation in structural reinforced concrete walls with staggered opening", *Applied Engineering Science*, **2**(15), pp. 71-78 (2012,b).
2. Mosoarca, M. "Seismic behaviour of reinforced concrete shear walls with regular and staggered opening after the strong earthquakes between 2009 and 2011", *Engineering Failure Analysis* (2013, a).
3. Mosoarca, M. "Failure analysis of RC shear walls with staggered opening under seismic loads", *Engineering Failure Analysis* (2013,b).
4. Khatami, Seyed M., Mortezaei, A. and Barros, R.C. "Comparing effects of openings in concrete shear walls under Near-Fault ground motions", *15th WCEE LIS-BOA* (2012).
5. Alarcon, C., Hube, M.A. and de la Liera JC. "Effect of axial loads in the seismic behavior of reinforced concrete walls with unconfined wall boundaries", *Engineering Structures*, **73**, pp. 13-23 (2014).
6. Li, B., Pan, Z. and Zhao, Y. "Seismic behaviour of lightly reinforced concrete structural walls with openings", *Institution of Civil Engineers*, 1400428 (2015).
7. Arathi, A.M. "Comparison of RC shear wall with openings in regular and irregular building", *International Journal of Engineering Research and Technology*, ISSN, **06**(06), pp. 2278-0181 (2017).
8. Priya Kale, R.J. "Effects of openings on different shapes of shear wall in RC buildings", *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, **4**(5), ISSN: 2455-2143, pp. 366-370 (2019).
9. Shobha, R., Syed Kaleem, A.Z. and Mohit, M. "Effects of openings on different shapes of shear wall in RC buildings", *COJ Technical and Scientific Research* (2020).
10. Fares, A. "The impact of RC shear wall openings at the lateral stiffness of the cantilever shear walls", *Research on Engineering Structures and Materials*, **7**(1), pp. 51-63 (2021).
11. Aguda, G.O. "Ultimate strength tests for RC coupled walls with openings with two bands of openings", M.S. Thesis, University of Dundee, 459 p. (1991).
12. Gioncu, V. and Mazzolani, F.M. "Earthquake Engineering for Structural Design", Taylor & Francis (2001).
13. Uniform Building Code (Ubc 97), Uniform Code Council (1997).
14. Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings (standard No. 2800, 4th edition) (In Persian) (1393).
15. Lubliner, J., Oliver, J., Oller, S. and et al. "A plastic-damage model for concrete", *Journal of Solids And Structures*, **25**(3), pp. 299-326 (1989).
16. Penzien, C., *Dynamics of Structure*, Computers and Structures inc., 3rd Ed., 752 p. (2003).