

تأثیر بار محوری و مشخصات مصالح بر عملکرد لرزه‌ای دیوار برشی کوتاه

محمد غنی‌زاده^{۱*}، عبدالرضا سروقد مقدم^۲، مسعود فرزام^۳

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۰۷	<p>دیوارهای برشی بتنی، با توجه به نسبت ارتفاع به عرض، به دو دسته‌ی دیوارهای برشی بلند و کوتاه تقسیم می‌شوند. دیوارهای برشی بلند با نسبت ابعادی بزرگتر از ۲، به دیوارهای خمشی معروف بوده و همانند تیرهای کنسولی تحلیل می‌شوند. در دیوارهای برشی کوتاه با نسبت ابعادی کوچکتر از ۲، به دلیل وجود نیروی برشی بزرگ متناظر با ظرفیت خمشی دیوار، تأثیر متقابل برش و خمش قابل ملاحظه و آنالیز آنها با آنالیز دیوارهای برشی بلند متفاوت است. در این مقاله رفتار دیوارهای برشی کوتاه بتن آرمه، به کمک برنامه المان محدود غیرخطی ATENA 3D مورد بررسی قرار گرفته و ضمن ارزیابی نوع گسیختگی و مقاومت برشی نهایی و پسماند، تأثیر پارامترهایی نظیر، بار محوری و مشخصات مصالح، بر روی رفتار دیوارهای برشی کوتاه بررسی گردیده است. نشان داده می‌شود که نیروهای محوری، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر رفتار انعطاف‌پذیر دیوار برشی کوتاه، با مد گسیختگی برشی دارند.</p>
پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۸/۲۷	
<p>واژگان کلیدی: دیوار برشی کوتاه، المان محدود، رفتار غیرخطی، مقاومت برشی.</p>	

۱-مقدمه

درحالی‌که در زلزله‌های بزرگ، اگر واکنش سازه به صورت ارتجاعی باقی نماند، احتمالاً قسمت‌هایی از دیوار جاری شده تا اینکه به حالت تسلیم می‌رسد، به همین دلیل نیروی طراحی در چنین حالتی به علت جاری شدن دیوار کاهش می‌یابد. چنانچه یک دیوار بتواند انعطاف‌پذیری و نرمی لازم را ایجاد نماید، کاهش مقاومت دیوار در زمان وارد آمدن نیروهای زیاد زلزله، کمتر بوده و بدین ترتیب سختی مورد نیاز سازه تأمین می‌گردد، در نتیجه در اثر طراحی مناسب دیوارهای برشی، می‌توان از فروریختن سازه به هنگام وقوع زلزله‌های بزرگ جلوگیری نمود. یکی از پارامترهای بسیار موثر در رفتار دیوارهای برشی، نسبت ممان موثر به برش موثر می‌باشد. این پارامتر برای دیوارهای برشی، مساوی

دیوارهای برشی، عموماً جهت مقابله با نیروی جانبی ناشی از زلزله در مناطق زلزله‌خیز و یا پایداری در مقابل نیروی باد در سایر مناطق بکار برده می‌شوند. این دیوارها علاوه بر مقاومت در برابر نیروهای جانبی، مقداری از نیروی محوری ناشی از بار حاصل از اجزا ساختمان و بارهای وارده ثقلی را نیز تحمل می‌نمایند. به طور کلی نقش اصلی دیوارهای برشی، افزایش صلبیت ساختمان‌های بتنی در مقابل نیروهای وارده است، همچنین موجب کاهش تغییر مکان جانبی و جلوگیری از ایجاد خرابی‌های اعضا غیر سازه‌ای ساختمان می‌گردد. دیوارهای برشی، برای زلزله‌های متوسط و کوچک، به صورت الاستیک عمل می‌نمایند،

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: ghanizade.m@gmail.com

۱. کارشناسی ارشد عمران - سازه، دانشکده فنی و مهندسی، ghanizade.m@gmail.com

۲. رئیس و استادیار پژوهشکده سازه، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، moghadam@iiees.ac.ir

۳. استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، mafarizam@tabrizu.ac.ir

صرف‌نظر از لنگر خمشی و نیروی محوری اعمالی، تقریباً خطی است [۵].

وراساک و همکاران، از مدل‌سازی سه بعدی المان محدود، برای مطالعه و پیش‌بینی رفتارهای دیوار برشی بتنی سبک استفاده کردند. نشان دادند که آرما‌تور گذاری قطری جان، در انتقال نیروهای برشی به پی بسیار موثرند، همچنین وجود این آرما‌توربندی باعث کاهش مشهود نیروی برشی در خاموت‌ها نیز می‌شود [۶].

گودرزی و همکاران، با بررسی فونداسیون دیوارهای برشی برای انتقال لنگر واژگونی به خاک زیر پی، نشان دادند، حرکت گهواره‌ای دیوارهای برشی، باعث تغییر رفتار غیرخطی سازه تحت نیروهای لرزه‌ای و ایجاد استهلاک انرژی ورودی ناشی از زلزله می‌گردد [۷].

یودا و همکاران، رفتار دینامیکی یک دیوار برشی مسلح بتنی را تا مرز گسیختگی، توسط مدلی که شامل المان‌های پوسته‌ای و صلب است را شبیه‌سازی کرده و قابل‌اعتماد بودن مدل‌های عددی موجود را با توجه به نتایج آزمایش‌ها تحقیق کردند. نشان دادند که این مدل می‌تواند با دقت خوبی اثر اینرسی پیچشی دال‌های فوقانی را لحاظ نماید. همچنین نتایج تحلیل عددی با نتایج آزمایش، شامل تاریخچه زمانی شتاب و جابجایی‌ها، مطابقت خوبی را نشان داد که موید صحت مدل‌های به‌کاررفته برای مصالح در شبیه‌سازی لرزه‌ای دیوار است [۸].

لستوزی و همکاران، مقاومت و ظرفیت تغییر شکل دیوارهای برشی بتنی کوتاه، که برای بارگذاری لرزه‌ای طراحی نشده‌اند را بررسی کردند. نتایج چند سری از آزمایش‌ها با بارگذاری چرخه‌ای استاتیکی، با داده‌های به دست آمده از تئوری‌ها، مقایسه گردید. گرچه گسیختگی برشی ترد برای نمونه‌ها پیش‌بینی می‌شد، مشاهده شد که دیوارهای برشی کم فولاد، می‌توانند ظرفیت تغییر شکل قابل‌ملاحظه‌ای داشته باشند که به نسبت و میزان آرما‌تور گذاری افقی وابسته نیست، همچنین تغییر مکان نسبی حاصل از شکست برشی و یا مقاومت خمشی، مقاومت

نسبت ارتفاع به طول دیوار می‌باشد. دیوارهای برشی با نسبت ظاهر زیاد، به صورت خمشی عمل نموده و دیوارهای خمشی نامیده می‌شوند. دیوارهای با نسبت ظاهر کم، دارای واکنش برشی بوده و معروف به دیوارهای کوتاه می‌باشند. در دیوارهای کوتاه، احتمال شکست برشی زود رس وجود داشته که باعث کاهش شکل‌پذیری دیوار می‌گردد. لذا اینگونه شکست‌های برشی معمولاً ناخوشایند بوده و بایستی از وقوع آن جلوگیری گردد.

نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی بر روی دیوار برشی کوتاه به وسیله محققان مختلفی گزارش شده است.

سینگ، چهار دیوار بتن مسلح کوتاه با نسبت ظاهری ۰.۵ را تحت بارگذاری چرخه‌ای آزمایش کرد. وی نشان داد جهت تضمین رفتار خمشی و جلوگیری از تخریب قطری، نیاز به میلگردهای افقی و قطری جان، برای برش و کشش است [۱].

وود، داده‌های مقاومت برشی آزمایشگاهی به دست آمده از ۱۴۳ آزمایش، روی دیوار برشی کوتاه را برای ارزیابی ضوابط آئین‌نامه‌ای موجود بررسی کرد. وی یک معادله نیمه تجربی بر اساس ضوابط برش-اصطکاک برای تخمین مقاومت برشی بیشینه‌ی دیوارهای برشی کوتاه پیشنهاد نمود [۲].

هسو، یک مدل ریاضی برای تعیین مقاومت و رفتار دیوارهای برشی کوتاه با المان‌های مرزی ارائه داد، که این مدل توانایی تعیین مقاومت برشی، تغییر شکل برشی، کرنش فولاد و کرنش بتن را در طول مدت بارگذاری با دقت قابل‌قبول دارا است [۳].

هونگ و همکاران، مدل دستک‌های فشاری کششی را برای پیش‌بینی مقاومت برشی دیوارهای کوتاه که مد گسیختگی حاکم، فشاری قطری است بسط دادند. نشان داده شد این مدل مقاومت برشی بیشینه دیوار مستطیلی را به دقت پیش‌بینی می‌کند [۴].

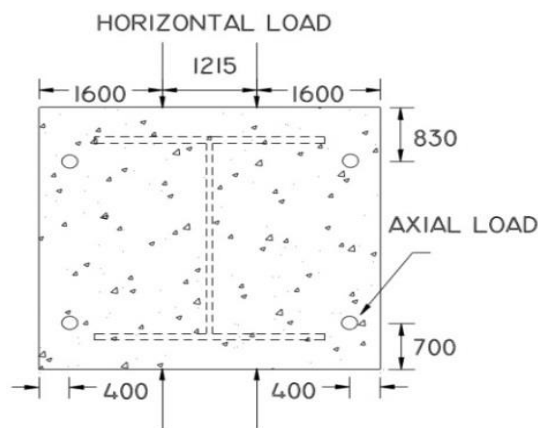
سانادا و همکاران، با انجام چند آزمایش بر روی دیوارهای برشی بتنی، تنش‌ها و نیروهای داخلی را مورد ارزیابی قرار و نشان دادند که رابطه بین نیروی جانبی و کرنش میانگین،

کوتاه، به مدل‌سازی و تحلیل نمونه‌ی آزمایشگاهی پالرمو و همکاران پرداخته شده است.

۲- صحت‌سنجی تحلیل عددی

۲-۱- هندسه‌ی مدل

دیوار نمونه‌ی آزمایشگاهی پالرمو و همکاران، برای تحلیل عددی، متشکل از پنج پانل (دو پانل دال، دو دیوار بال و یک دیوار جان) و چهار صفحه‌ی اعمال بار طبق مشخصات زیر است. دال بالایی به طول ۴۴۱۵ میلی‌متر، عرض ۴۰۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۶۴۰ میلی‌متر، دال پایینی به طول ۴۴۱۵ میلی‌متر، عرض ۴۰۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۶۲۰ میلی‌متر، جان دیوار به طول ۲۸۸۵ میلی‌متر، ارتفاع ۲۰۲۰ میلی‌متر و ضخامت ۷۵ میلی‌متر، بال دیوارها به طول ۳۰۴۵ میلی‌متر، ارتفاع ۲۰۲۰ میلی‌متر و ضخامت ۹۵ میلی‌متر می‌باشد. جان دیوارها با میلگردهای D6 ساخته شدند، میلگردها، ۱۴۰ میلی‌متر به صورت افقی و ۱۳۰ میلی‌متر به صورت عمودی، در دو لایه موازی فاصله‌گذاری شدند. بال دیوارها با میلگرد D6، در فواصل ۱۴۰ میلی‌متر به صورت افقی و ۱۳۰ میلی‌متر به صورت عمودی نزدیک جان دیوار و ۳۵۵ میلی‌متر نزدیک لبه‌های بال‌ها قرار گرفتند. بال‌های دیوار شامل دو لایه تقویتی بودند. ابعاد پلان دیوار در شکل ۱، نمای جانبی در شکل ۲ و مقطع آرماتورگذاری در شکل ۳ نشان داده شده است [۱۰].



نمونه شکل ۱- پلان دیوار [۱۰]

مشاهده‌شده در تست‌ها را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد [۹].

پالرمو و همکاران، دیوار برشی ضخیم بالدار را که با عنوان DPI نام‌گذاری شد، آزمایش کردند. با انجام آزمایش بر روی دیوار برشی کوتاه، رفتار دیوارها را تحت اثر بارهای چرخه‌ای مورد مطالعه قرار دادند. دیوار برشی آزمایش‌شده به صورت بالدار (I شکل) بود و تحت اثر بارها، عمدتاً شکست برشی در جان را نشان داد. پاسخ آزمایشگاهی دیوارها با استفاده از وچپو و کالینز (۱۹۸۶)، شبیه‌سازی شد که از یک روش ترک پخش‌شده چرخنده استفاده می‌کند. در این آزمایش، دیوارهای سازه‌ای با نسبت‌های ارتفاع به عرض پایین، به عنوان دیوارهای برشی ضخیم در نظر گرفته شد. آنها کاربرد دیوارها را در ساختمان‌های کم ارتفاع، به عنوان المان‌های مقاوم بار لرزه‌ای و برای سازه‌های بلند، شرکت‌کننده اصلی در مقابل بار جانبی در چند طبقه اول بالای سطح فوندانسیون را به دست آوردند. خواص هندسی نمونه‌ها از لحاظ اسمی در هندسه مانند نمونه‌های انجمن مهندسی نیروگاه اتمی ژاپن بود، بنابراین یک مقایسه بین آزمایش دینامیکی و آزمایش استاتیکی بررسی نمودند [۱۰].

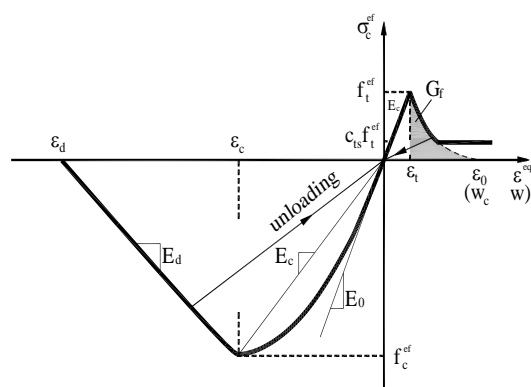
در دیوارهای برشی کوتاه برش و خمش به صورت تنگاتنگ به یکدیگر مربوط می‌باشند. وجود نیروهای برشی ممکن است باعث تخریب کششی مورب و یا تخریب فشاری مورب گردد. همچنین در بعضی موارد ترک‌های متوالی در پای دیوار که در اثر تغییر شکل الاستیک ایجاد می‌گردد، موجب شکست برشی لغزشی می‌گردد. برش لغزشی، مانع افزایش بیشتر ظرفیت دیوار می‌گردد، بنابراین در تحلیل غیرخطی این دیوارها، به منظور پیش‌بینی رفتار لرزه‌ای آنها، طراح با چالش‌های بیشتری مواجه خواهد بود. از این روی، با توجه به نیازی که به بررسی بیشتر در برخی جنبه‌های تحلیلی و رفتاری دیوارهای برشی کوتاه احساس می‌شود، باهدف دستیابی به ابزاری مناسب برای تحلیل بر اساس عملکرد این‌گونه دیوارها و همچنین بررسی اثر بار محوری و مشخصات مصالح در دیوار، بر عملکرد لرزه‌ای دیوار برشی

جدول ۱- مشخصات بتن [۱۰]

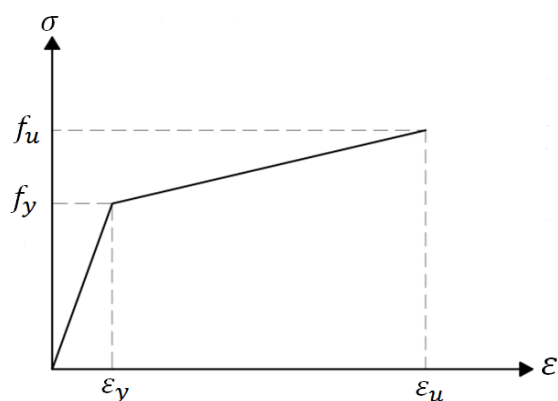
نمونه	f'_c (MPa)	E (MPa)
جان	۲۱/۷	۲۵۹۰۰
بال	۲۱/۷	۲۵۹۰۰
دال بالا	۴۳/۹	۴۳۷۰۰
دال پایین	۳۴/۷	۳۶۹۰۰

جدول ۲- مشخصات میلگرد [۱۰]

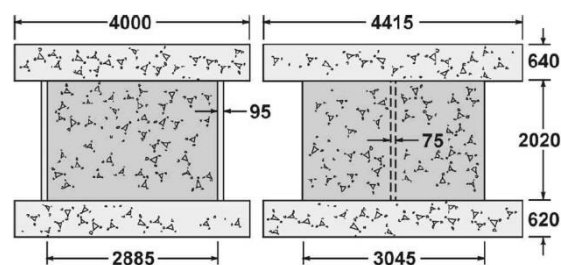
نمونه	قطر میلگرد (میلیمتر)	f_y (MPa)	E (MPa)	f_u (MPa)
جان	۷	۶۰۵	۱۹۰۲۵۰	۶۵۲
بال	۷	۶۰۵	۱۹۰۲۵۰	۶۵۲
دال بالا	۲۹/۹	۵۵۰	۲۲۰۰۰۰	۶۹۶
دال پایین	۲۹/۹	۵۵۰	۲۲۰۰۰۰	۶۹۶



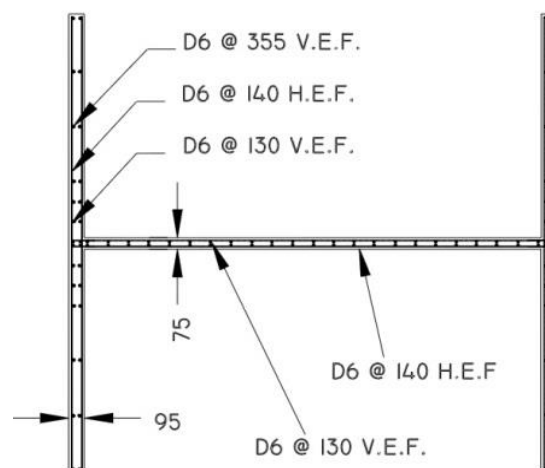
شکل ۴- منحنی تنش-کرنش بتن [۱۱]



شکل ۵- منحنی تنش-کرنش فولاد [۱۱]



نمونه شکل ۲- نمای جانبی دیوار [۱۰]



نمونه شکل ۳- طرح آرماتور گذاری دیوار [۱۰]

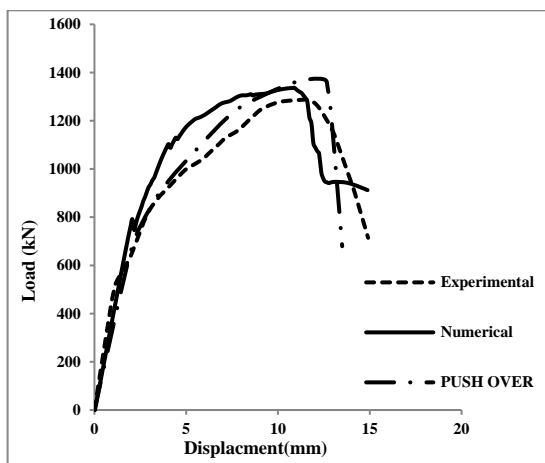
۲-۲- خواص مصالح مدل

مشخصات مصالح نمونه‌ای آزمایشگاهی پالرمو و همکاران، برای تحلیل عددی، در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. مدل بتن فشاری و کششی تک محوری معادل، در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است. در این مدل، ناحیه نرم شدگی کششی با تعیین انرژی شکافت و عرض ترک حداکثر تعریف می‌شود و ناحیه فشاری پسا اوج نیز با تعیین کرنش نهایی مشخص می‌شود. برای میلگردها نیز از مدل دو خطی سخت شونده استفاده شده است [۱۱].

مش بندی مدل تحلیلی نیمی از دیوار، در شکل ۶ نشان داده شده است. میلگردها به صورت المان‌های میله‌ای در محل واقعی خود مدل شده و برای اتصال میلگرد به بتن، رفتار چسبندگی - لغزش 90 CEB-Model Code انتخاب شده است. با توجه به وجود قلاب‌ها، لغزش صفر برای دو انتهای میلگردها در نظر گرفته شده است.

عرض ترک‌ها را فراهم می‌آورد. بخش دیگر نرم‌افزار ATENA3D روش ساده‌تر حل معادلات غیرخطی به واسطه روش المان محدود و معیار بارگذاری افزایشی آن می‌باشد. روش‌های مختلفی در این نرم‌افزار برای حل معادلات غیرخطی وجود دارد، در این مقاله از روش نیوتن-رافسون که یک فرایند تکراری حل معادلات غیرخطی می‌باشد، استفاده شده است.

با توجه به شکل ۶، تغییر مکان، درست در محل اعمال نیروی جانبی اندازه‌گیری شده است. پوش منحنی‌های چرخه‌ای در شکل ۸ نشان داده شده است. (برای مقایسه راحت‌تر، واحدها به واحدهای ارائه‌شده در نتایج آزمایش تبدیل شده‌اند).

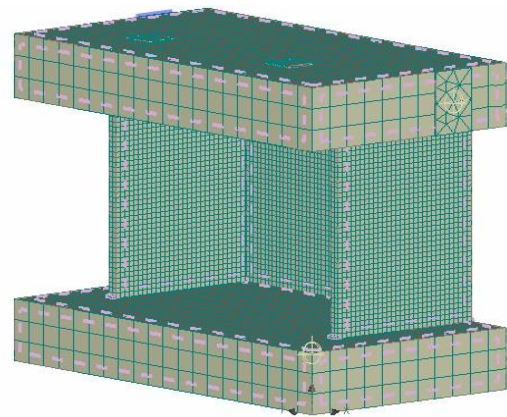


شکل ۸- نمودار بار-جابجایی در نقطه‌ی بالای دیوار

نتایج ارزیابی تحلیل، در جدول ۳ و ۴ نشان داده شده است. با توجه به جداول ۳ و ۴ ملاحظه می‌شود، جواب‌های مدل تحلیلی نسبت به مدل آزمایشگاهی مطابقت خوبی دارند.

۲-۵- زوایای ترک و تنش میلگردها

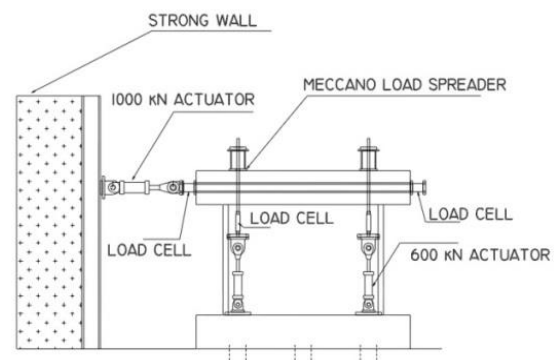
در گام نهایی تحلیل، الگوی ترک‌خوردگی تیر و تنش میلگردها، در اشکال ۹ و ۱۰ قابل مشاهده می‌باشند. جهت ترک‌های جان در شکل ۹، موید ترک‌خوردگی کامل جان در کشش قطری است و بازوهای بتنی فشاری نیز قابل مشاهده‌اند. در بال وجه کششی، ترک‌ها به صورت افقی می‌باشند.



شکل ۶- مش بندی مدل تحلیلی و محل اعمال بار و اندازه‌گیری تغییر مکان جانبی

۲-۳- بارگذاری نمونه

در قدم اول بارگذاری، وزن قطعات اعمال شد، سپس نیروی محوری اضافی به صورت یکنوای افزایشنده بر سطح بالایی دال فوقانی اعمال گردید. مجموع بار محوری اعمالی، برابر ۱۲۰۰ kN است که در قدم‌های بعدی، اعمال بار ثابت نگه داشته شد. بار جانبی به صورت کنترل تغییر مکان، در ۲۰ مرحله به سازه اعمال گردید. محل اعمال بار در شکل ۷ دیده می‌شود.



شکل ۷- محل اعمال نیروی محوری و نیروی جانبی [۱۰]

۲-۴- معرفی برنامه غیرخطی المان محدود

ATENA 3D

این نرم‌افزار مختص تحلیل غیرخطی سازه‌های بتن‌آرمه می‌باشد. علاوه بر در نظر گرفتن مدل‌های مختلف غیرخطی بتن و فولاد، تأثیر چسبندگی- لغزش میلگرد را می‌توان به صورت دو مدل پیش‌فرض در تحلیل در نظر گرفت. همچنین پس پردازنده قوی آن، امکان نمایش موقعیت و

جدول ۳- بررسی مقاومت برشی نهایی (kN)

$V_U Num.$	$V_U Exp.$	$V_U push over$	$\frac{V_U Num.}{V_U Exp.}$	$\frac{V_U Num.}{V_U push over}$
۱۳۳۶	۱۲۹۸	۱۳۷۲٫۷	۱٫۰۲۹	۰٫۹۷۳

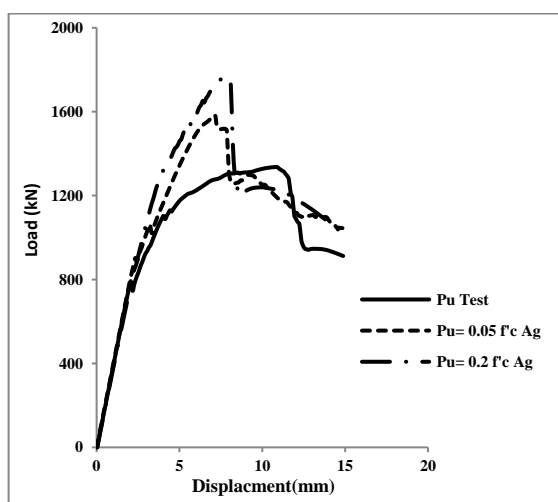
جدول ۴- مقادیر جابجایی جانبی حداکثر (mm)

جابجایی نمونه تحلیلی	جابجایی نمونه آزمایشگاهی	جابجایی نمونه پوش اور	جابجایی نمونه تحلیلی جابجایی نمونه آزمایشگاهی	جابجایی نمونه تحلیلی جابجایی نمونه پوش اور
۱۰٫۸	۱۱٫۱۴	۱۲٫۴۵۲	۰٫۹۶۹	۰٫۸۹۰

کششی را تحمل می‌نمایند، ولی فقط تعداد اندکی از آنها به حد جاری شدن رسیده‌اند. با توجه به هدف آزمایش که جلوگیری از گسیختگی خمشی با استفاده از بال‌های فشاری بزرگ است، مشاهده می‌شود که هیچ‌کدام از میلگردهای بال فشاری جاری نشده‌اند.

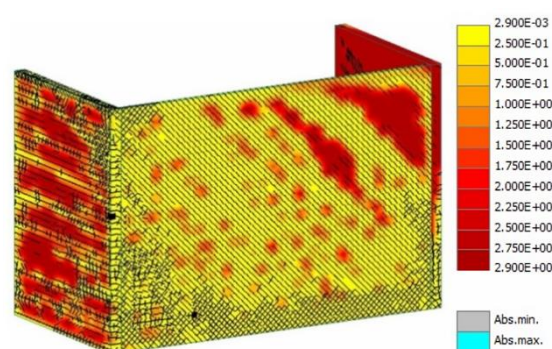
۲-۶- بررسی پارامتر نیروی محوری روی مدل بالدار

نمودار شکل ۱۱، تأثیر پارامتر افزایش بار محوری در مدل را نشان می‌دهد.

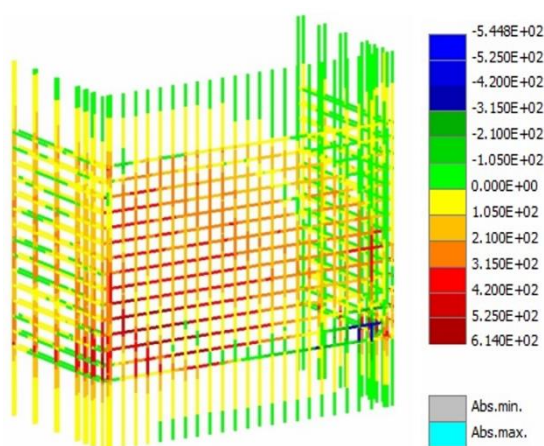


شکل ۱۱- نمودار بار-جابجایی نمونه دیوار بالدار

با توجه به شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، بارهای محوری وارد شده، به طور قابل‌ملاحظه‌ای روی مقاومت نهایی و مدهای شکست دیوارهای برشی ضخیم تأثیر می‌گذارند.

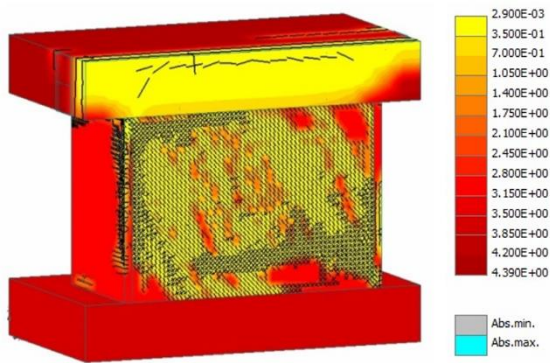


شکل ۹- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی



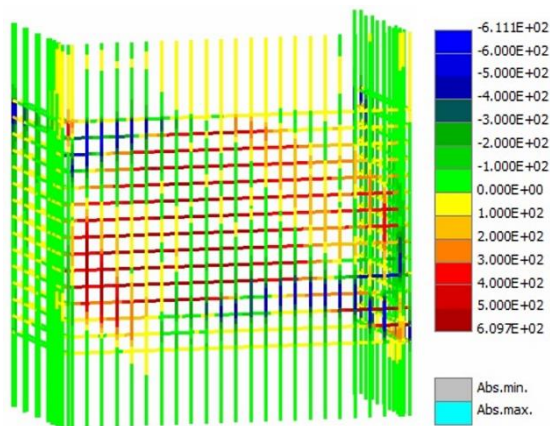
شکل ۱۰- توزیع تنش نهایی در میلگرد

با توجه به شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، میلگردهای بال کششی، فقط در نزدیک جان به حد جاری شدن رسیده‌اند. جاری شدن قسمت عمده‌ای از میلگردهای افقی در کل ارتفاع دیوار نشانگر تأثیر بسزای این میلگردها در تحمل نیروهای برشی است. میلگردهای قائم جان نیز نیروهای



شکل ۱۴- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای

$$P_U = 0.2 f'_c A_g$$

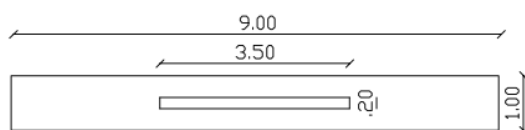


شکل ۱۵- توزیع تنش نهایی در میلگرد برای

$$P_U = 0.2 f'_c A_g$$

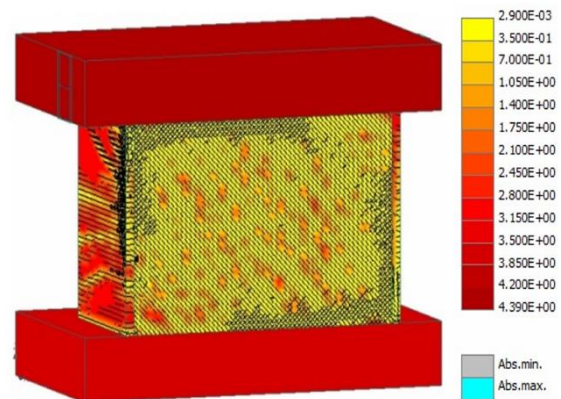
۳- معرفی مدل تحلیلی

به منظور بررسی پارامترهای موثر بر رفتار دیوارهای برشی کوتاه و همچنین بهبود عملکرد آنها، مدل یک دیوار برشی کوتاه مستطیلی بر روی فونداسیون نواری، تحت بارگذاری جانبی افزایشده (تحلیل استاتیکی غیرخطی) قرار می‌گیرد و اثر پارامترهای مختلف بر رفتار سازه با تکیه‌گاه گیردار بررسی می‌شود. ابعاد پلان دیوار پیشنهادی در شکل ۱۶ و نمای جانبی و مقطع آن در شکل ۱۷ نشان داده شده است. مشخصات مصالح مصرفی و میلگردگذاری دیوار در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده است.



شکل ۱۶- پلان دیوار

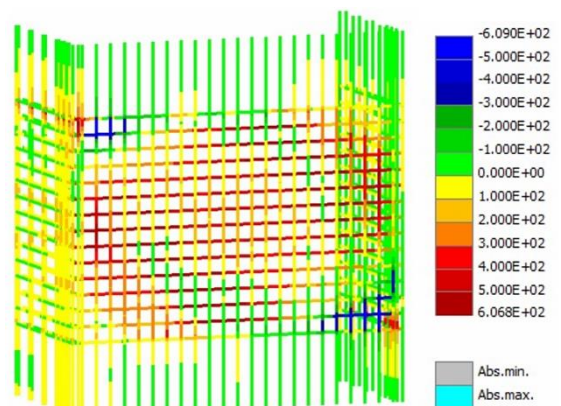
اشکال نهایی این تحلیل برای هر یک از بارها در شکل ۱۲ الی ۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۲- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای

$$P_U = 0.05 f'_c A_g$$

با توجه به شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، بال دیوار کاملاً به کشش افتاده و گسیختگی‌هایی در نواحی گوشه‌ی بال و همچنین جان سمت چپ دیوار به وجود آمده است.



شکل ۱۳- توزیع تنش نهایی در میلگرد برای

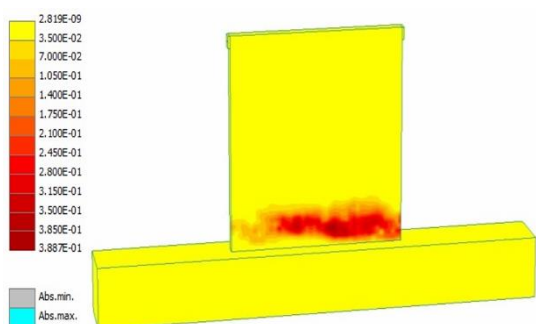
$$P_U = 0.05 f'_c A_g$$

با توجه به شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، میلگردهای بال دیوار، در نواحی وسط و گوشه به حد جاری شدن رسیده‌اند. با توجه به شکل ۱۴ مشاهده می‌شود، گسیختگی در نواحی گوشه‌ی دیوار، همچنین در لبه‌ی جان چپ دیوار به وجود آمده است.

با توجه به شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، میلگردها در نواحی گوشه‌ی بال دیوار به حد جاری شدن رسیده‌اند. نتایج ارزیابی تحلیل، در جدول ۵ نشان داده شده است.

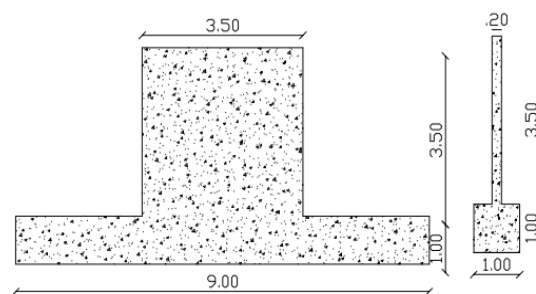
همان‌گونه که در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود مد خرابی عضو عمدتاً برشی با افت ناگهانی بعد از نقطه اوج بوده و مقاومت پسماند تقریباً ۱۴ درصد حداکثر مقاومت است.

بعد از تحلیل، مقادیر تنش، کرنش، الگوی ترک‌خوردگی و انتشار ترک‌ها در هر گام قابل مشاهده است و می‌توان به کمک آنها رفتار المان‌ها را در هر گام از بارگذاری تحلیل نمود. قسمتی از اشکال از شکل ۱۹ الی ۲۱ بررسی شد. با توجه به شکل ۱۹ مشاهده می‌شود، در ناحیه‌ی انتهایی دیوار برش لغزشی صورت گرفته است.



شکل ۱۹- توزیع کرنش اصلی نهایی

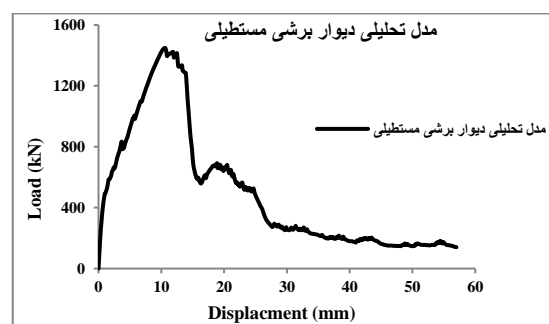
شکل ۲۰ مقاومت کششی باقیمانده با مشخص نمودن جهت و زاویه ترک‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود ترک بحرانی تقریباً افقی و نزدیک به پای دیوار قرار دارد، نیمی از دیوار به مقاومت کششی خود رسیده، همچنین گسیختگی در ناحیه انتهایی دیوار صورت گرفته است.



شکل ۱۷- نمای جانبی و مقطع دیوار

۳-۱- نتایج حاصل از تحلیل برای مدل مستطیلی

مدلهای بتن و فولاد، همانند شکل ۲ در نظر گرفته شد. پس از مدلسازی و مش بندی آن، بار جانبی به صورت کنترل تغییر مکان و با آهنگ یکنواخت افزایشی، از گوشه‌ی بالای دیوار بدان اعمال شد. نتیجه‌ی حاصل از تحلیل به شکل دیاگرام نیرو-جابجایی در شکل ۱۸ نشان داده شده است. با توجه به نمودار، حداکثر مقاومت برشی ۱۴۴۴ کیلو نیوتن، در جابجایی ۱۰،۴ میلی‌متر به دست آمده است.



شکل ۱۸- نمودار بار-جابجایی در نقطه بالای دیوار

جدول ۵- مقایسه نتایج تحلیل مدل‌ها با بارهای محوری متفاوت

نمونه	مقاومت برشی نهایی	جابجایی در حداکثر بار	مقاومت نمونه نسبت به مدل تحلیلی	جابجایی نمونه نسبت به مدل تحلیلی
نمونه تحلیلی	۱۳۳۶	۱۰،۸	-	-
$=0.05 f'_c A_g P_U$	۱۵۵۷،۶	۶،۷۶	۱،۱۶۷	۰،۶۲
$=0.2 f'_c A_g P_U$	۱۷۵۸،۲	۷،۵۹	۱،۳۱۷	۰،۷۰

جدول ۶- مشخصات مصالح و دیوار

دیوار (m) L_W	دیوار (m) H_W	دیوار (cm) t_W	$(kg/cm^2) F'_C$	$(kg/cm^2) F_y$	نوع میلگرد
۳،۵	۳،۵	۲۰	۲۱۰	۴۰۰۰	A III

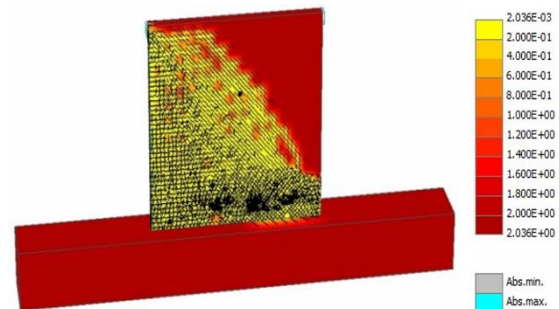
جدول ۷- مشخصات آرماتورگذاری و فونداسیون

آرماتور عرضی فونداسیون	آرماتور طولی فونداسیون	طول (m) فونداسیون	مقطع (m) فونداسیون	آرماتورگذاری افقی دیوار	آرماتورگذاری قائم دیوار
20@20Ø	۷25Ø	9	1×1	16@25Ø	20@25Ø

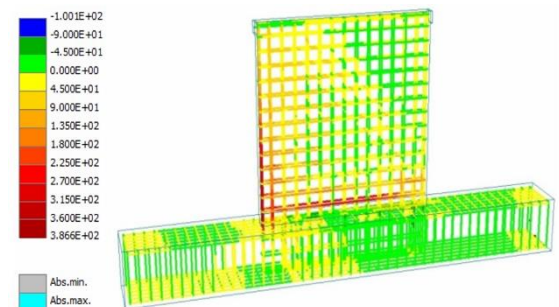
از پانل دیوار قوی‌تر و صلب‌تر بوده و در دیوارهای با نسبت‌های ظاهری کمتر یا مساوی ۱، ممکن است که شیب صفحه تخریب را به موربی در امتداد دو گوشه‌ی دیوار تغییر دهند. بارهای ثقیلی، در دیوارهای برشی موجب افزایش مقاومت و کاهش شکل‌پذیری می‌شوند. بار محوری شکل‌پذیری را کاهش می‌دهد و باعث کماتش سریع‌تر آرماتورها می‌شود. پس اگر چه بار محوری عاملی مثبت برای افزایش مقاومت است، اما برای شکل‌پذیری، عاملی منفی محسوب می‌شود. در مدل‌های دارای بار محوری قابل توجه، سختی جانبی نمونه به شدت افزایش می‌یابد، به نحوی که تنش فشاری موجود در المان، رفتار برشی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد و تغییر شکل‌های برشی سخت‌تر (با نیروی زیاد تر) اتفاق می‌افتد. ظرفیت تغییر شکل، برای دیوارهایی که میزان نیروی محوری در آنها بزرگتر از $P_U = 0.05 f'_c A_g$ است، کاهش پیدا می‌کند و همچنین آزمایش‌ها مقاومت پسماند ناچیزی را برای دیوارهایی با میزان نیروی محوری بیش از $P_U = 0.05 f'_c A_g$ نشان داده‌اند، بنابراین پیشنهاد شده است که نسبت مقاومت پسماند برای دیوارهای با بار محوری کمتر از $P_U = 0.05 f'_c A_g$ در FEMA 356 از ۰٫۴ به ۰٫۲ کاهش داده شود و این نسبت برای دیوارهای با بار محوری بیش از $P_U = 0.05 f'_c A_g$ برابر صفر منظور گردد.

برای بررسی تأثیر نقش بار محوری بر توزیع تنش‌های داخلی، طبق شکل ۲۲، به ترتیب بار محوری $0.2 f'_c A_g$ ، $0.3 f'_c A_g$ و $0.4 f'_c A_g$ روی مدل اعمال می‌گردد.

نمودار شکل ۲۳ تأثیر افزایش بار محوری روی مدل را نشان می‌دهد. اشکال نهایی این تحلیل برای هر یک از نیروها در شکل ۲۴ الی ۲۶ نشان داده شده است.



شکل ۲۰- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی

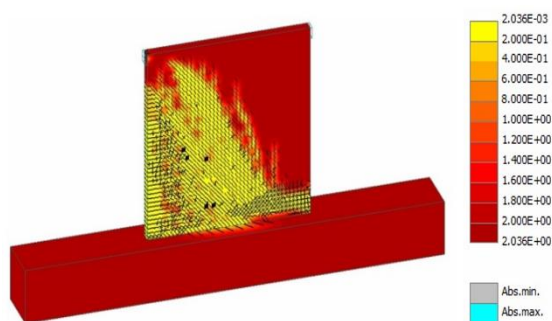


شکل ۲۱- توزیع تنش نهایی در میلگرد

با توجه به شکل ۲۱ مشاهده می‌شود، میلگردهای قائم وجه کششی و اولین لایه میلگرد عرضی به هنگام خرابی دیوار، جاری شده‌اند.

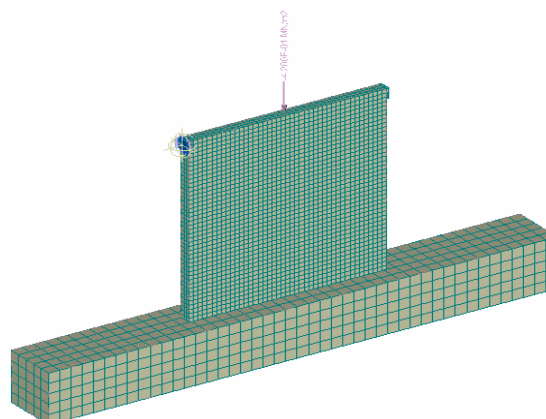
۳-۲- تأثیر پارامتر بار محوری روی مدل مستطیلی

نیروهای زلزله در ساختمان‌ها، در تراز سقف‌ها وارد می‌شوند. در دیوارهای برشی، نیروی افقی به صورت خطی در محل اتصال دال سقف و یا تیر فوقانی به دیوار منتقل می‌گردد. انتقال این نیروها به فونداسیون دیوار از طریق دستک‌های فشاری مورب، تغییر شکل و خم شدن فولادهای قائم در محل ترک مایل، کشش در میلگردهای افقی برشی و قفل و بست ذرات بتن بین دو سطح مقابل در ترک مایل صورت می‌گیرد. دال سقف و یا تیر فوقانی بر روی توزیع و شیب ترک‌های مایل اثر می‌گذارد. این اعضا

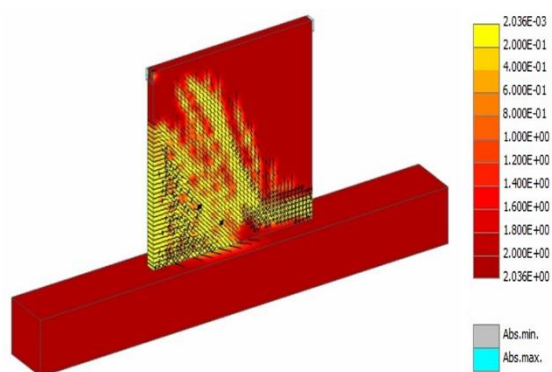


شکل ۲۵- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی

$$P_U = 0.3 f'_c A_g \text{ برای}$$



شکل ۲۲- مدل مش بندی شده و محل اعمال بار محوری



شکل ۲۶- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی

$$P_U = 0.4 f'_c A_g \text{ برای}$$

با توجه به شکل ۲۶ مشاهده می‌شود، در نواحی کناری پایین دیوار گسیختگی به وجود آمده است. نتایج ارزیابی تحلیل، در جدول ۸ نشان داده شده است.

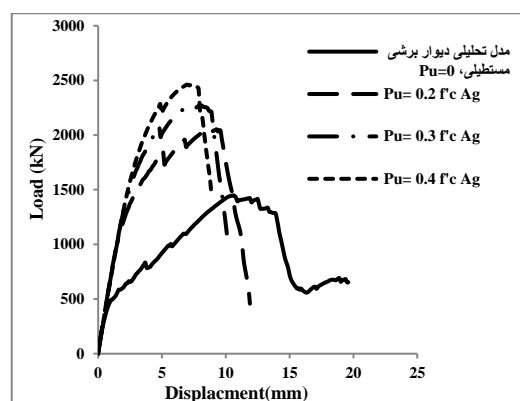
۳-۳- تأثیر پارامتر مقاومت فشاری بتن (f'_c)

نمودار شکل ۲۷ تأثیر پارامتر افزایش مقاومت فشاری بتن در مدل را نشان می‌دهد.

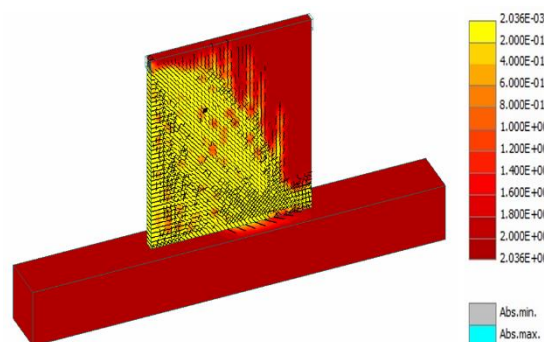
با توجه به شکل ۲۷، برای دیوار برشی کوتاه، عمدتاً رفتار گسیختگی برشی است، ولی برای دیوارهای برشی بلند، این مطالب برعکس می‌باشد و تأثیرشان محدود می‌باشد. اشکال نهایی این تحلیل برای هر یک از مقاومت‌ها در شکل ۲۸ الی ۳۰ نشان داده شد.

با توجه به شکل ۲۹ مشاهده می‌شود، در گوشه‌ی سمت راست-پایین، گسیختگی به وجود آمده است.

با توجه به شکل ۳۰ مشاهده می‌شود، بیش از نیمی از دیوار



شکل ۲۳- تحلیل مدل بر اساس بار محوری



شکل ۲۴- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی

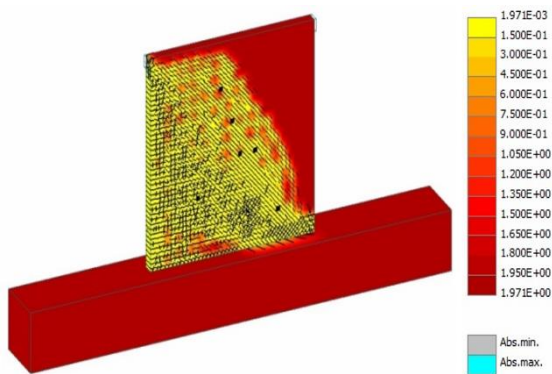
$$P_U = 0.2 f'_c A_g \text{ برای}$$

با توجه به شکل ۲۴ مشاهده می‌شود، بیش از نیمی از دیوار به مقاومت کششی خود رسیده‌اند. در ناحیه‌ی انتهایی دیوار، همچنین در لبه‌ی عمودی چپ دیوار گسیختگی به وجود آمده است.

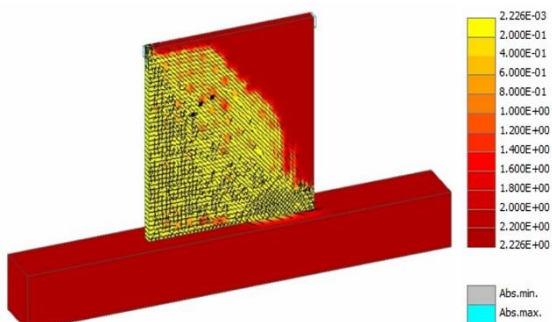
با توجه به شکل ۲۵ مشاهده می‌شود، هنوز نیمی از دیوار به مقاومت کششی نرسیده‌اند و در گوشه‌ی انتهایی و لبه عمودی گسیختگی به وجود آمده است.

به مقاومت کششی خود رسیده است و گسیختگی در گوشه‌ی سمت راست-پایین و لبه‌ی چپ به صورت عمودی به وجود آمده است.

نتایج ارزیابی تحلیل، در جدول ۹ نشان داده شد.



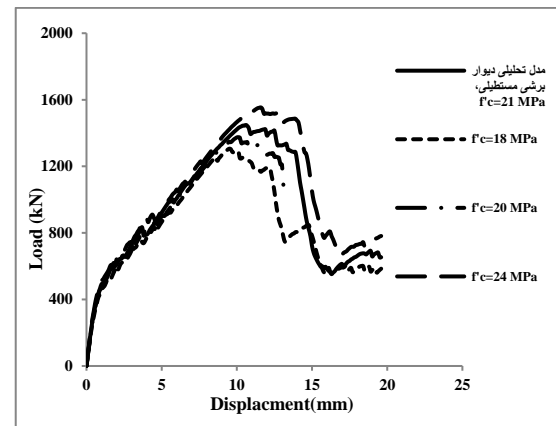
شکل ۲۹- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای $f'_c = 20$



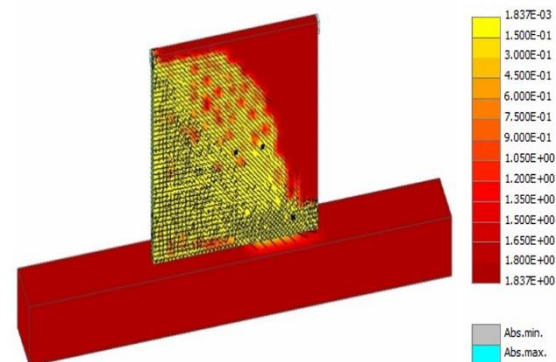
شکل ۳۰- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای $f'_c = 24$

۳-۴- تأثیر پارامتر تنش تسلیم میلگرد (f_y)

نمودار شکل ۳۱، تأثیر افزایش تنش تسلیم میلگرد روی مدل را نشان می‌دهد. اشکال نهایی این تحلیل برای هر یک از نمونه‌ها در شکل ۳۲ و ۳۳ نشان داده شده است.



شکل ۲۷- تحلیل مدل بر اساس مقاومت فشاری بتن



شکل ۲۸- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای $f'_c = 18$

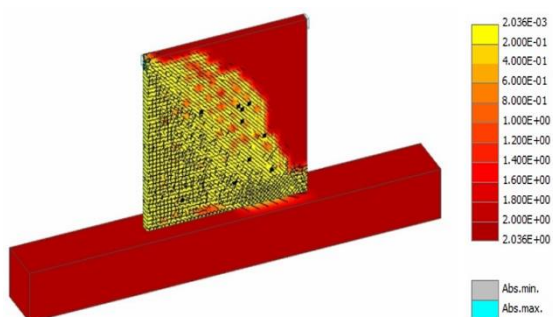
جدول ۸- مشخصات تحلیل مدل بر اساس نیروی محوری

	مقاومت برشی نهایی (کیلو نیوتن)	جابجایی در حداکثر بار (میلیمتر)	مقاومت پسماند	
			مقاومت (کیلو نیوتن)	در جابجایی (میلیمتر)
مدل اولیه	۱۴۴۴	۱۰٫۴	۶۲۲٫۳	۱۵٫۴
$P_U = 0.2 f'_c A_g$	۲۰۵۳	۹٫۲۹	-	۱۱٫۹
$P_U = 0.3 f'_c A_g$	۲۲۶۵	۸٫۱۸	-	۱۰٫۱
$P_U = 0.4 f'_c A_g$	۲۴۵۷	۶٫۸۷	-	۸٫۸۷
$P_U = 0.2 f'_c A_g$ نسبت به مدل اولیه	۱٫۴۲	۰٫۸۹	-	۰٫۷۷
$P_U = 0.3 f'_c A_g$ نسبت به مدل اولیه	۱٫۵۶	۰٫۷۸	-	۰٫۶۵
$P_U = 0.4 f'_c A_g$ نسبت به مدل اولیه	۱٫۷۰	۰٫۶۶	-	۰٫۵۷

جدول ۹- نتایج تحلیل مدل بر اساس مقاومت فشاری بتن

	مقاومت برشی نهایی (کیلو نیوتن)	جابجایی در حداکثر بار (میلیمتر)	مقاومت پسماند	
			مقاومت (کیلو نیوتن)	در جابجایی (میلیمتر)
مدل اولیه ($f'_c = 21 \text{ MPa}$)	۱۴۴۴	۱۰,۴	۶۲۲,۳	۱۵,۴
($f'_c = 18 \text{ MPa}$)	۱۳۰۳	۹,۶	۷۷۴,۴	۱۳,۱
($f'_c = 20 \text{ MPa}$)	۱۳۷۴	۱۰	-	۱۳,۱
($f'_c = 24 \text{ MPa}$)	۱۵۴۵	۱۱,۳	۷۹۰,۲	۱۵,۷
مدل اولیه/ ($f'_c = 18 \text{ MPa}$)	۰,۹۰	۰,۹۲	۱,۲۴	۰,۸۵
مدل اولیه/ ($f'_c = 20 \text{ MPa}$)	۰,۹۵	۰,۹۶	-	۰,۸۵
مدل اولیه/ ($f'_c = 24 \text{ MPa}$)	۱,۰۶	۱,۰۸	۱,۲۶	۱,۰۱

نتایج ارزیابی تحلیل، در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

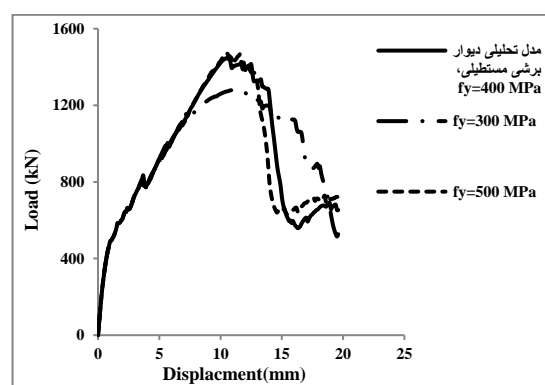


شکل ۳۳- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای $f_y = 500$

۴- نتیجه‌گیری

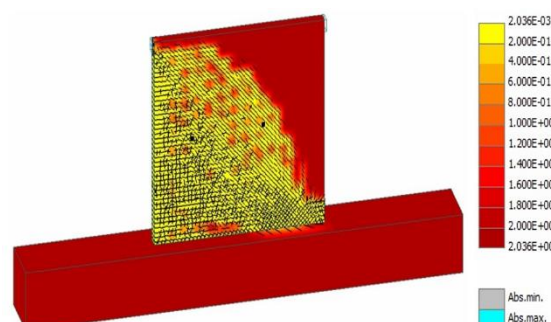
در این تحقیق، دیوار برشی کوتاه با مقطع بالدار، همچنین مقطع مستطیلی با نسبت ابعادی ارتفاع به طول برابر یک، مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر پارامترهایی نظیر بار محوری، مقاومت فشاری بتن و تنش تسلیم میلگرد، به صورت عددی مورد مطالعه قرار گرفت. مقایسه رفتار دیوارها منجر به نتایج ذیل گردید:

در بررسی تأثیر افزایش بار محوری روی نمونه‌های بالدار و مستطیلی، با افزایش نیروی محوری، مقاومت برشی افزایش و شکل‌پذیری کاهش می‌یابد. در نمونه بالدار، با افزایش بار محوری تا $P_U = 0.2 f'_c A_g$ ، مقاومت برشی نهایی، ۳۱ درصد افزایش و در نمونه مستطیلی با افزایش بار محوری تا $P_U = 0.4 f'_c A_g$ ، مقاومت برشی نهایی، ۷۰ درصد افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۳۱- تحلیل مدل بر اساس تنش تسلیم میلگرد

با توجه به شکل ۳۱ می‌توان نتیجه گرفت، برای مدل‌هایی که تنش تسلیم زیادی دارند، شکل‌پذیری و بار طراحی ثابت می‌ماند، ولی برای تنش تسلیم کمتر، شکل‌پذیری افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۳۲- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای $f_y = 300$

با توجه به شکل ۳۲ مشاهده می‌شود، در نواحی انتهایی دیوار گسیختگی به وجود آمده است. با توجه به شکل ۳۳ مشاهده می‌شود، در نواحی انتهایی و لبه‌ی عمودی چپ دیوار، گسیختگی به وجود آمده است.

در بررسی تأثیر تنش تسلیم میلگرد در نمونه‌های مستطیلی، با افزایش تنش تسلیم میلگرد، مقاومت برشی افزایش و شکل‌پذیری کاهش پیدا می‌کند. با کاهش تنش از، $f_y = 400 \text{ MPa}$ به $f_y = 300 \text{ MPa}$ ، مقاومت برشی نهایی، ۱۲ درصد کاهش و جابجایی در نقطه پیک، ۲۵ درصد افزایش می‌یابد.

در بررسی تأثیر پارامتر مقاومت فشاری بتن در نمونه‌های مستطیلی، با افزایش مقاومت، مقاومت برشی و شکل‌پذیری افزایش می‌یابد. با کاهش مقاومت از، $f'_c = 21 \text{ MPa}$ به $f'_c = 18 \text{ MPa}$ ، مقاومت برشی نهایی، ۱۰ درصد و جابجایی در نقطه پیک، ۸ درصد کاهش می‌یابد.

جدول ۱۰- مشخصات تحلیل مدل بر اساس تنش تسلیم میلگرد

مدل اولیه	مقاومت برشی نهایی (کیلو نیوتن)	جابجایی در حداکثر بار (میلیمتر)	مقاومت پسماند	
			مقاومت (کیلو نیوتن)	در جابجایی (میلیمتر)
مدل اولیه	۱۴۴۴	۱۰,۴	۶۲۲,۳	۱۵,۴
($f_y = 300 \text{ MPa}$)	۱۲۸۳	۱۱,۲	۵۲۷,۱	۱۹,۴
($f_y = 500 \text{ MPa}$)	۱۴۵۵	۱۱,۴	۶۶۴,۹	۱۴,۴
مدل اولیه / ($f_y = 300 \text{ MPa}$)	۰,۸۸	۱,۰۷	۰,۸۴	۱,۲۵
مدل اولیه / ($f_y = 500 \text{ MPa}$)	۱,۰۰۷	۱,۰۹	۱,۰۶	۰,۹۳

۵- مراجع

- [1]- Syngge, A., J. (1980). "Ductility of shear walls". research report 80-8, department of civil engineering, university of canter bury, Christchurch New Zealand. P.P. 141.
- [2]- Wood, S., L. (1990). "Shear Strength of Low- Rise Reinforced Concrete Walls". ACI Structural Journal, Jan-Feb, Vol. 87, No. 1, PP. 99-107.
- [3]- Hsu, T., T., C. (1998). "Behavior and Analysis of 100 MPa Concrete Membrane Elements". Journal of Structural Engineering, ASC, Vol. 124, No. 1, pp. 24-34.
- [4]- Hwang, S., J., Lee, H., J. (2001). "Analytical model for predicting shear strengths of reinforced concrete beam-column joints for seismic resistance". ACI vol. 97, NO. 1, pp. 35-44.
- [5]- Sanada, Y., Hirose, T., Yorkinov, B. (2008). "Seismic Testing of Reinforced Concrete Shear for Detecting a Structural Weak Point, International Conference On Construction and Building Technology". ICCBT, vol. 20, pp. 223-234.
- [6]- Werasak, R., Meng, J. (2009). "Analysis Modeling of Seismic Behavior of Lightweight Concrete Shear Walls, Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists". IMECS, March 18 - 20, Vole. 2, pp. 978-988- 17012-7-5.
- [7]- گودرزی، ن.، (۱۳۹۰). حرکت گهواره‌ای دیوارهای برشی کوتاه با فونداسیون صلب. ششمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، اردیبهشت.
- [8]- Ueda, M., Seya, H., Ohmiya, Y., Taniguchi, H., Kambayashi, A. (1997). "Nonlinear analysis on RC shear wall shaking table test". 14th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 14), Lyon, France, August 17-22, pp. 433-440.
- [9]- Greifenhagen, C., Lestuzzi, P. (2005). "Static cyclic tests on lightly reinforced concrete shear walls". Engineering Structures, vol. 27, pp. 1703-1712.
- [10]- Palermo, D., Vecchio, F., J. (2002). "Behavior and analysis of reinforced concrete walls subjected to reversed cyclic loading". PhD Thesis, Toronto University, May, PP. 1-351.
- [11]- Cervenka, V., Gerstle, K., H. (1970). "Inelastic finite element analysis of reinforced concrete plane loads". PHD Dissertation, university of Colorado, Boulder.