

## اثر آرایش میلگرد بر عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی کوتاه

محمد غنی زاده<sup>۱\*</sup>، عبدالرضا سروقد مقدم<sup>۲</sup> و مسعود فرزام<sup>۳</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>واژگان کلیدی:</b> دیوار برشی کوتاه، المان محدود، رفتار غیرخطی، مقاومت برشی.</p>	<p>همان طور که نیاز به طراحی لرزه‌ای سازه‌های مقاوم در برابر زلزله روزبه‌روز افزایش می‌یابد، مطالعات آزمایشگاهی و عددی فراوانی نیز برای تخمین و برآورد پاسخ غیرخطی این نوع سازه‌ها انجام می‌پذیرد. 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، رفتار عمدتاً خمشی و دیوارهای برشی کوتاه با نسبت ابعادی کوچک‌تر از ۲، رفتار عمدتاً برشی دارند. در این مقاله رفتار دیوارهای برشی کوتاه بتن‌آرمه، به کمک برنامه المان محدود غیرخطی ATENA 3D مورد بررسی قرار گرفته و ضمن ارزیابی نوع گسیختگی، مقاومت برشی نهایی و مقاومت پسماند، تأثیر پارامترهایی نظیر تمرکز میلگردهای طولی و عرضی در لبه دیوار، استفاده از میلگردهای قطری و تغییر فواصل میلگرد های افقی و قائم، بر روی رفتار دیوارهای برشی کوتاه مطالعه می‌شود. نشان داده می‌شود که برخلاف دیوارهای بلند، تمرکز میلگردها در لبه دیوار راه حل مناسبی برای افزایش شکل‌پذیری نمی‌باشد.</p>

### ۱- مقدمه

ظرفیت باربری ثقلی را حفظ کنند. از دیوارهای برشی کوتاه در ساختمان‌های کم ارتفاع، نیروگاه‌های هسته‌ای و طبقات پایین ساختمان‌های بلندمرتبه استفاده می‌شود. بخش‌هایی از دیوارها که در طرفین بازشوها به وجود می‌آیند، رفتاری مشابه دیوارهای برشی کوتاه دارند. رفتار غالب در این‌گونه دیوارها، رفتار برشی است. نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی بر روی دیوار برشی کوتاه به وسیله محققان مختلفی مانند، یودا و همکاران (۱۹۷۷) [۱]، هونگ و همکاران (۲۰۰۱) [۲]، پالرمو و همکاران (۲۰۰۲) [۳]، لستوزی و همکاران (۲۰۰۵) [۴]، وراساک و همکاران (۲۰۰۹) [۵]، گزارش شده است.

هسو (۱۹۹۸)، یک مدل ریاضی برای تعیین مقاومت و رفتار دیوارهای برشی کوتاه با المان‌های مرزی ارائه کرد. این مدل بر اساس شرایط تعادل و سازگاری و رابطه نرم شده تنش و کرنش برای بتن، در دستک‌های فشاری

امروزه با پیشرفت تکنولوژی ساخت و استفاده از مصالح جدید، امکان بهره‌گیری از روش‌های طراحی بر اساس عملکرد مهیا شده است. در این نگرش مهم‌ترین عوامل طراحی، تعیین مقاومت و تغییر شکل سازه است. دیوارهای برشی بتن‌آرمه، اعضای سازه‌ای هستند که در ساختمان‌ها به منظور مقاومت در برابر نیروهای جانبی مانند نیروی باد و نیروی زلزله بکار می‌روند. این دیوارها علاوه بر تحمل نیروهای جانبی می‌توانند نیروهای ثقلی را نیز تحمل کنند. امتیاز ساختمان‌های دارای دیوار برشی این است که حتی بعد از ترک‌خوردگی‌های شدید، قادرند

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: ghanzadeh.researcher@gmail.com

۱. کارشناسی ارشد عمران-سازه، دانشکده فنی و مهندسی.

۲. رئیس و دانشیار پژوهشکده سازه، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

۳. استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.

به دست دادند، ۴) سختی جانبی تخمین زده شده در شبیه‌سازی‌هایی که فونداسیون دیوار را مدل نکردند، مشابه سختی جانبی تخمین زده شده‌ی شبیه‌سازی‌هایی بود که در آن‌ها فونداسیون دیوار مدل شده بود، ۵) مقاومت برشی حداکثر تخمین زده شده به وسیله تحلیل المان محدود بین ۶۵ تا ۱۱۵ درصد مقادیر اندازه‌گیری شده تجربی به دست آمد، ۶) میزان تغییر مکان در مقاومت برشی حداکثر حاصل از تحلیل بین ۲۵ تا ۱۸۵ درصد مقادیر تغییر مکان در مقاومت برشی به دست آمد، ۷) نه فرمولاسیون ترک ثابت شده و نه ترک چرخنده، هیچ کدام از یکدیگر بهتر عمل نکردند [۹].

به دلیل پیچیده بودن مکانیسم انتقال برش در سازه‌های بتن‌آرمه، تحلیل دیوارهای کوتاه مشکل‌تر از تحلیل دیوارهای لاغر است و همچنین تحت بارگذاری لرزه‌ای، حالات شکست متنوعی از خود نشان می‌دهند؛ بنابراین در تحلیل غیرخطی این دیوارها، به منظور پیشگویی 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 آرایش میلگردها در دیوار، بر عملکرد لرزه‌ای دیوار برشی کوتاه، به مدل‌سازی و تحلیل نمونه‌ی ناپیک پرداخته شده است.

## ۲- صحت‌سنجی مدل تحلیلی

### ۲-۱- هندسه‌ی مدل تجربی (NUPEC)

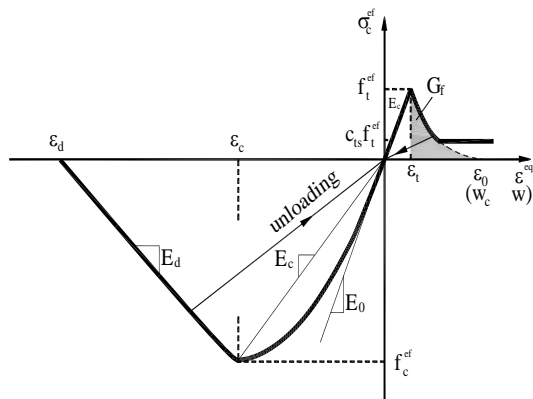
دیوار نمونه‌ی آزمایشگاهی ناپیک، برای تحلیل عددی، متشکل از پنج پانل (دو پانل دال، دو دیوار بال و یک دیوار جان) و دو صفحه‌ی اعمال بار، طبق مشخصات زیر می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، دال بالایی ۴ متر طول، ۴ متر عرض و ۷۶۰ میلی‌متر ارتفاع، دال پایینی ۵ متر طول، ۵ متر عرض و ۱۰۰۰ میلی‌متر ارتفاع، دیوار جان ۲۹۰۰ میلی‌متر طول، ۲۰۲۰ میلی‌متر

قطری تنظیم گردیده است. نشان داد این مدل توانایی تعیین مقاومت برشی، تغییر شکل برشی، کرنش فولاد و کرنش بتن را در طول مدت بارگذاری با دقت قابل قبول دارا می‌باشد و تنها برای تعیین تغییر شکل برشی ارائه گردیده و در رابطه با دیوارهای برشی کوتاه معنی دارد و چنانچه دیوارهای برشی متوسط و بلند مد نظر باشد، به علت غالب بودن تغییر شکل‌های خمشی در این دیوارها، این مدل غیرقابل قبول می‌باشد [۶].

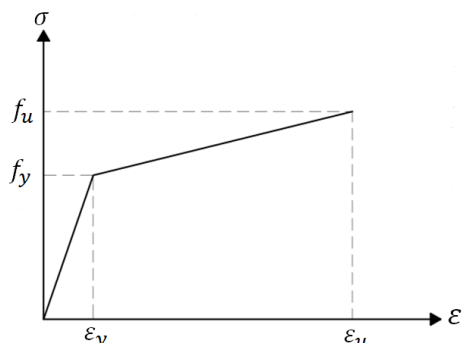
وود (۱۹۹۰)، داده‌های مقاومت برشی آزمایشگاهی به دست آمده از ۱۴۳ آزمایش روی دیوار کوتاه را برای تعیین ضوابط آئین‌نامه‌ای موجود ارزیابی کردند. نتایج این آزمایش‌ها تأثیر پارامترهای آزمایشگاهی نظیر مقدار فولاد جان و نحوه‌ی بارگذاری بر روی مقاومت دیوار را مشخص نمود و همچنین یک معادله نیمه تجربی بر اساس بخش اصطکاک برشی برای تخمین مقاومت برشی پیشینه‌ی دیوارهای برشی کوتاه پیشنهاد کرد [۷].

NUPEC (مطالعه انجمن مهندسی نیروگاه اتمی ژاپن) (۱۹۹۱)، دیوار ضخیم بالدار را با استفاده از یک شبیه‌ساز زلزله، برای بررسی پاسخ آن‌ها تحت بارگذاری دینامیکی تا وقوع شکست آزمایش کرد. ۴۷ تحلیل شبیه‌سازی برای دیوارهای آزمایش شده انجام شد. از این شبیه‌سازی‌ها، ۳۱ تحلیل با تحلیل المان محدود، ۱۰ تحلیل با مدل‌های ساده شده و ۶ تحلیل با مدل‌های جرم متمرکز انجام شد. مدل بتن مورد استفاده در تحلیل اغلب مدل‌ها، از نوع ترک پخش شده بود. جزئیات تحلیل‌های انجام شده در OECD/NEA/CSNI (۱۹۹۶) [۸]، گزارش شده است. نتایج تحلیل المان محدود موجود در گزارش OECD نشان می‌دهد که (۱) تأثیر تغییر در مدل‌های سخت شوندگی کششی در پاسخ، نسبتاً کم است، (۲) اغلب مقادیر تخمین زده شده برای سختی الاستیک، حدود ۱۵ درصد با مقادیر آزمایشگاهی تفاوت داشتند، (۳) مدل‌های دو بعدی که عرض موثر بال در آن‌ها برابر ۱۰۰۰ میلی‌متر تخمین زده شده بود، سختی جانبی را نسبت به مدل دو بعدی با لحاظ کردن تمام عرض بال (۲۹۸۰ میلی‌متر) بهتر

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 [۱۰].

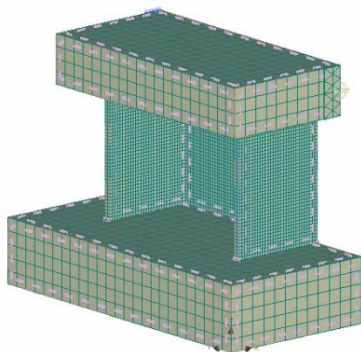


شکل ۳- منحنی تنش-کرنش بتن [۱۰]



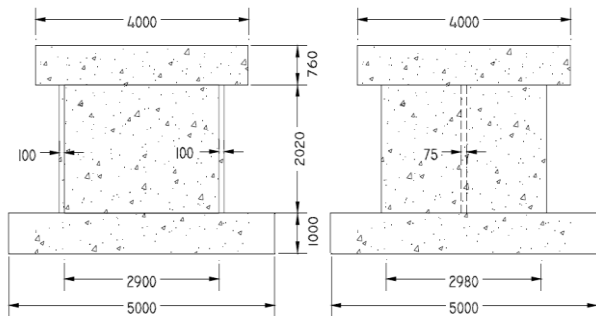
شکل ۴- منحنی تنش-کرنش فولاد [۱۰]

مش بندی مدل تحلیلی نیمی از دیوار در شکل ۵ نشان داده شده است. میلگردها به صورت المان‌های میله‌ای در محل واقعی خود مدل شده و برای اتصال میلگرد به بتن رفتار چسبندگی-لغزش CEB-Model Code 90 انتخاب شده است. با توجه به وجود قلاب‌ها، لغزش صفر برای دو انتهای میلگردها در نظر گرفته شده است.

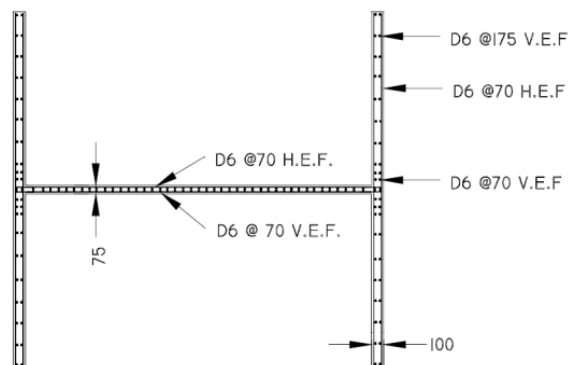


شکل ۵- مش بندی مدل تحلیلی و محل اعمال بار و اندازه‌گیری تغییر مکان جانبی

ارتفاع و ۷۵ میلیمتر ضخامت، دیوارهای بال ۲۹۸۰ میلیمتر طول، ۲۰۲۰ میلیمتر ارتفاع و ۱۰۰ میلیمتر ضخامت داشتند. میلگردهای دال پایین، شبکه‌ای از میلگرد D29 (قطر ۲۹ میلیمتر)، در بالا و پایین آن، میلگردهای دال بالایی شبکه‌ای از میلگرد D25 (قطر ۲۵ میلیمتر) و دیوارهای جان و بال از میلگردهای D6، طبق شکل ۲ می‌باشد [۹].



شکل ۱- ابعاد دیوار [۹]



شکل ۲- شمای آرماتور گذاری [۹]

## ۲-۲- مشخصات مصالح مدل تحلیلی

مشخصات مصالح نمونه‌ی آزمایشگاهی ناپیک، برای تحلیل عددی، در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات مصالح [۹]

مشخصات بتن ( $\text{kg/mm}^2$ )				مشخصات میلگرد ( $\text{kg/mm}^2$ )		
$f'_c$	E	$\nu$	$f_t$	$f_y$	E	$f_u$
2.92	234	0.155	0.23	39.1	$18.8 \times 10^3$	49.5

مدل بتن فشاری و کششی تک محوری معادل در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است. در این مدل، ناحیه نرم شدگی کششی با تعیین انرژی شکافت و عرض ترک حداکثر

### ۳-۲- بارگذاری مدل تحلیلی

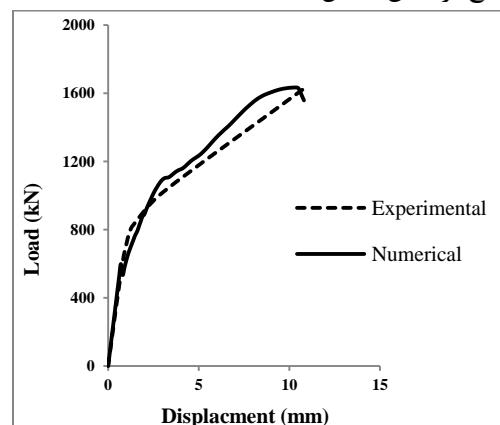
در قدم اول بارگذاری، وزن قطعات اعمال شد، سپس نیروی محوری اضافی به صورت مونوتونیک افزایشده بر سطح بالایی دال فوقانی اعمال گردید. مجموع بار محوری اعمالی و دال فوقانی، برابر ۱۲۲۰ kN می‌باشد که در قدم‌های بعدی اعمال بار، ثابت نگه داشته شد. بار جانبی به صورت کنترل تغییر مکان افزایشده در مرکز دال فوقانی، در ۲۰ مرحله به سازه اعمال گردید [۹].

### ۴-۲- 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 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.

پوش منحنی‌های چرخه‌ای در شکل ۶ نشان داده شده است. (برای مقایسه راحت‌تر، واحدها به واحدهای ارائه‌شده در نتایج آزمایش تبدیل شده‌اند).



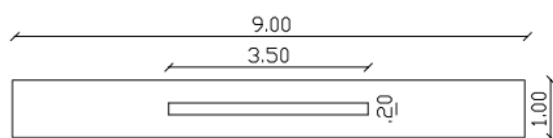
شکل ۶- نمودار بار-جابجایی در نقطه‌ی بالای دیوار

### ۵-۲- نتایج حاصل از تحلیل مدل تحلیلی

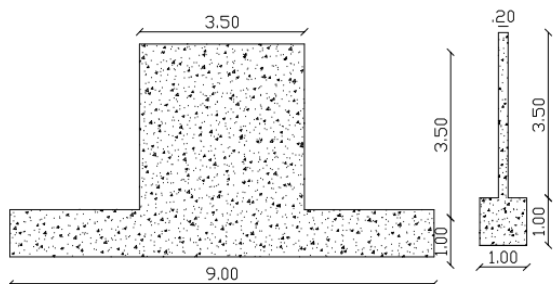
در ساخت مدل تحلیلی دیوار برشی کوتاه، تمامی شرایط حین آزمایش، اعمال شد. سیکل دریافت‌های اعمالی دقیقاً مشابه نمونه‌ی آزمایشگاهی می‌باشد. طبق جدول ۲، مقاومت برشی بیشینه‌ی دیوار ناشی از تحلیل، ۱۶۳۶ کیلو نیوتن، در جابجایی ۱۰/۹۶ میلی‌متر نتیجه گردید. با مقایسه منحنی‌های به دست آمده و نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی، مشاهده می‌شود که تطابق خوبی بین دو نتیجه برقرار است.

### ۳- دیوارهای کوتاه متداول در مقاوم‌سازی

باهداف تدوین رویکردهای متنوع در برخورد با انواع ساختمان در سطوح خطر مختلف، دستورالعمل کاربردی بهسازی لرزه‌ای، توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله تدوین گردیده است. برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های کوتاه، نمونه‌ای از دیوار برشی مستطیلی پیشنهاد شده است که بر روی پی نواری قرار می‌گیرد. به منظور بررسی پارامترهای موثر بر رفتار این گونه دیوارها و همچنین بهبود عملکرد آن‌ها، با استفاده از یافته‌های فوق‌الذکر، این دیوارها مدل‌سازی عددی شده و تحت بارگذاری جانبی افزایشده (تحلیل استاتیکی غیرخطی) قرار می‌گیرند. ابعاد پلان دیوار پیشنهادی در شکل ۷ و نمای جانبی و مقطع آن در شکل ۸، نشان داده شده است [۱۱].



شکل ۷- پلان دیوار [۱۱]



شکل ۸- نمای جانبی و مقطع دیوار [۱۱]

همان گونه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، مد خرابی عضو عمدتاً برشی با افت ناگهانی بعد از نقطه اوج بوده و مقاومت پسماند تقریباً ۱۴ درصد حداکثر مقاومت می‌باشد.

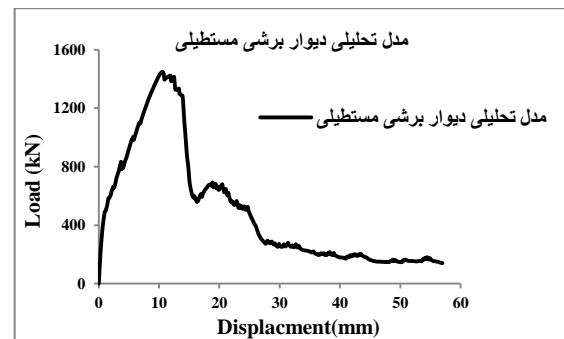
#### ۴- بررسی تأثیر پارامترهای مختلف روی مدل

در این بخش هدف، بررسی رفتار دیوار برشی کوتاه مستطیلی می‌باشد. تأثیر پارامترهایی نظیر تمرکز میلگردهای طولی و عرضی در لبه دیوار، استفاده از میلگردهای قطری و تغییر فواصل میلگرد های افقی و قائم بر روی رفتار دیوار برشی کوتاه بررسی گردیده است. نتایج حاصل با نتایج تحلیل اولیه مقایسه شده و تأثیر آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

مشخصات مصالح مصرفی و میلگردگذاری دیوار در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است [۱۱].

#### ۳-۱- نتایج حاصل از تحلیل برای مدل مستطیلی

مدل های بتن و فولاد همانند شکل ۳ و ۴ در نظر گرفته شد و پس از مدل سازی و مش بندی آن، بار جانبی به صورت کنترل تغییر مکان و با آهنگ یکنواخت افزایشی بدان اعمال شد. نتیجه‌ی حاصل از تحلیل به شکل دیاگرام نیرو-جابجایی در شکل ۹ نشان داده شده است. با توجه به نمودار، حداکثر مقاومت برشی ۱۴۴۴ کیلو نیوتن، در جابجایی ۱۰٫۴ میلی‌متر به دست آمده است.



شکل ۹- مدل تحلیلی دیوار برشی مستطیلی

جدول ۲- بررسی تغییر مکان و مقاومت برشی

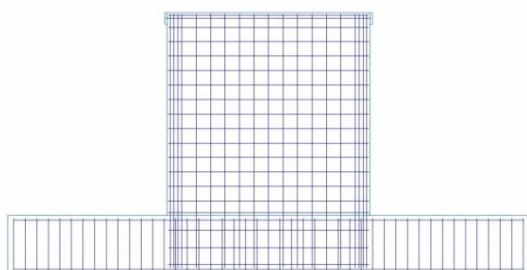
نمونه	$(kN)V_{U Num.}$	$(kN)V_{U Exp.}$	$(kN)\frac{V_{U Num.}}{V_{U Exp.}}$	جابجایی نمونه تحلیلی (mm)	جابجایی نمونه آزمایشگاهی (mm)	جابجایی نمونه تحلیلی / جابجایی نمونه آزمایشگاهی (mm)
NUPEC	۱۶۳۹	۱۶۴۱٫۷۶	۰٫۹۹۸۳	۱۰٫۴۳	۱۰٫۹۸	۰٫۹۴۹۹

جدول ۳- مشخصات مدل

نوع میلگرد	$F_y(kg/cm^2)$	$F'_c(kg/cm^2)$	دیوار $t_w(cm)$	دیوار $H_w(m)$	دیوار $L_w(m)$
A III	۴۰۰۰	۲۱۰	۲۰	۳٫۵	۳٫۵

جدول ۴- مشخصات آرماتورگذاری و فونداسیون مدل

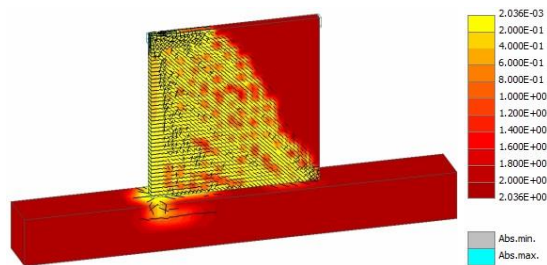
آرماتور عرضی فونداسیون	آرماتور طولی فونداسیون	طول فونداسیون (m)	مقطع فونداسیون (m)	آرماتورگذاری افقی دیوار	آرماتورگذاری قائم دیوار
$\emptyset 20@20$	$7\emptyset 25$	9	$1 \times 1$	$\emptyset 16@25$	$\emptyset 20@25$



شکل ۱۰- طرح آرماتورگذاری تمرکز میلگرد در گوشه

#### ۴-۱- تمرکز میلگرد در گوشه ی دیوار

برای بررسی نقش تمرکز میلگرد در گوشه‌ی دیوار، طبق شکل ۱۰، هشت میلگرد در هر گوشه و هر بار با قطر متفاوت مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۱۴- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای  $8 \times 30$

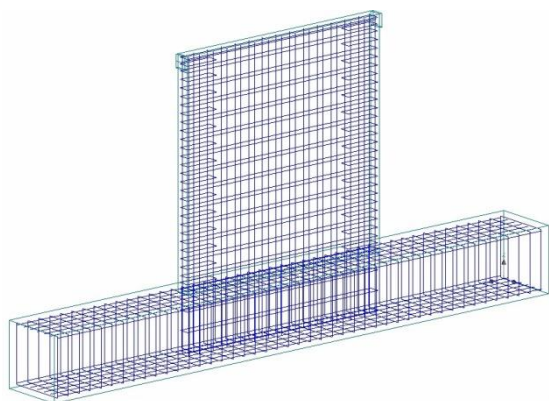
با توجه به اشکال تحلیلی مشاهده می‌شود، بیش از نیمی از دیوارها به کشش کار می‌کنند و با افزایش تمرکز میلگرد در گوشه، گسترش ترک و گسیختگی صورت گرفته، کمتر می‌شود.

نتایج ارزیابی تحلیل، در جدول ۵ نشان داده شده است.

همچنان که مشاهده می‌شود، با افزایش تمرکز میلگرد در گوشه، مقاومت برشی نهایی افزایش و شکل پذیری کاهش پیدا می‌کند.

#### ۲-۴- تمرکز خاموت در گوشه‌ی دیوار

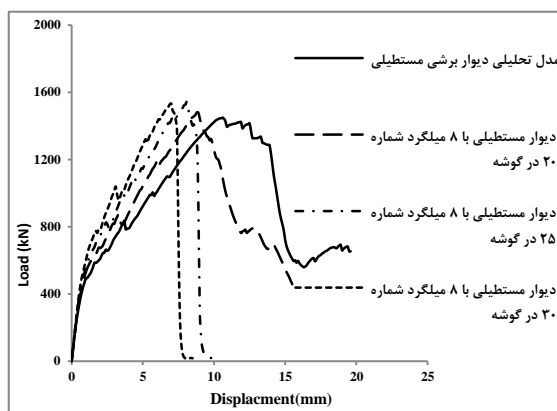
برای بررسی نقش تمرکز خاموت در گوشه‌ی دیوار، طبق شکل ۱۵، شش میلگرد گوشه از هر طرف، توسط خاموت محصور شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۱۵- طرح آرماتورگذاری خاموت در گوشه‌ی دیوار

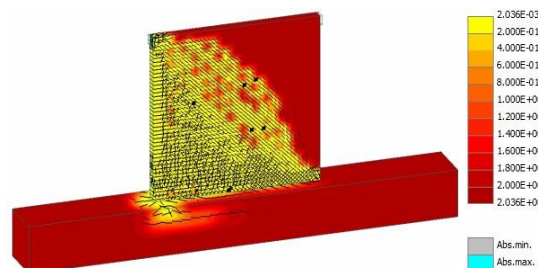
نمودار شکل ۱۶، تأثیر تمرکز خاموت در گوشه‌ی نمونه را نشان می‌دهد.

نمودار شکل ۱۱، تأثیر تمرکز میلگرد در گوشه‌ی نمونه را نشان می‌دهد. اشکال نهایی این تحلیل برای هر یک از نمونه‌ها در شکل ۱۲ الی ۱۴ نشان داده شده است.

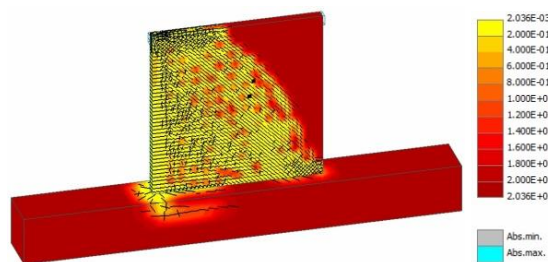


شکل ۱۱- تحلیل مدل بر اساس تمرکز میلگرد در گوشه

همچنان که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، به دلیل ظرفیت بالای خمشی، شکست از نوع برشی کاملاً ترد صورت گرفته و ظرفیت باربری جانبی دیوار از بین رفته است. بدین دلیل افت ناگهانی در ظرفیت مشاهده می‌شود. ولی در نمونه بعد شکست از نوع خمشی - برشی است که همراه با جاری شدن فولادهای طولی و سپس فولادهای عرضی همراه است.

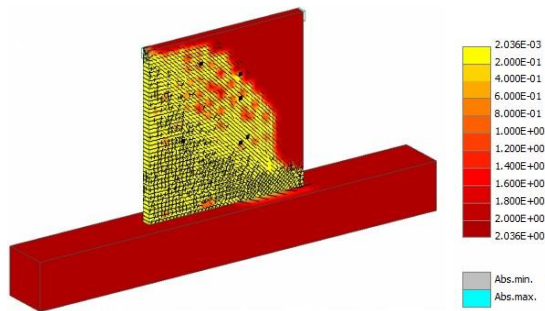


شکل ۱۲- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای  $8 \times 20$



شکل ۱۳- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای  $8 \times 25$

با توجه به شکل ۱۷ مشاهده می‌شود، میلگردهای دیوار، در نواحی گوشه‌ی چپ- پایین و چند لایه از پای دیوار به حد جاری شدن رسیده‌اند.



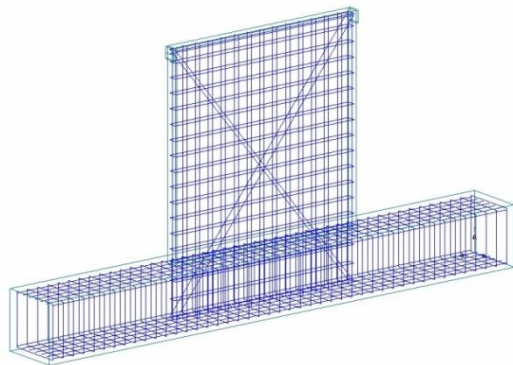
شکل ۱۸- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی

با توجه به شکل ۱۸ مشاهده می‌شود، بیش از نیمی از دیوار به مقاومت کششی خود رسیده است و گسیختگی در پای دیوار و لبه‌ی چپ به صورت عمودی به وجود آمده است.

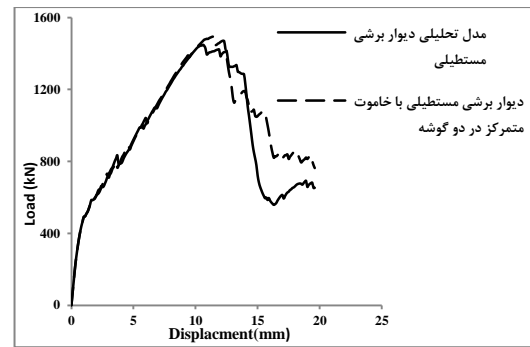
نتایج ارزیابی تحلیل، در جدول ۶ نشان داده شده است. همچنان که مشاهده می‌شود استفاده از تنگ‌های متمرکز و یا عدم استفاده از آن‌ها در لبه دیوار تأثیر چشمگیری بر مقاومت و یا شکل‌پذیری دیوارهای برشی کوتاه ندارد.

جدول ۵- مشخصات تحلیل مدل بر اساس تمرکز میلگرد در گوشه ی دیوار

	مقاومت برشی نهایی (کیلو نیوتن)	جابجایی در حداکثر (میلیمتر)	مقاومت پسماند	
			مقاومت (کیلو نیوتن)	در جابجایی (میلیمتر)
مدل اولیه	۱۴۴۴	۱۰٫۴	۶۲۲٫۳	۱۵٫۴
مدل با ۲۰ Ø ۸	۱۴۶۶	۸٫۷	۴۷۵٫۶	۱۵٫۴
مدل با ۲۵ Ø ۸	۱۵۲۲	۷٫۹	۴۷٫۱۵	۹٫۳
مدل با ۳۰ Ø ۸	۱۵۲۲	۶٫۹	۱۳٫۵۷	۸٫۱
مدل اولیه / مدل با ۲۰ Ø ۸	۱٫۰۱	۰٫۸۳	۰٫۷۶	۱
مدل اولیه / مدل با ۲۵ Ø ۸	۱٫۰۵	۰٫۷۵	۰٫۰۷۵	۰٫۶۰
مدل اولیه / مدل با ۳۰ Ø ۸	۱٫۰۵	۰٫۶۶	۰٫۰۲	۰٫۵۲

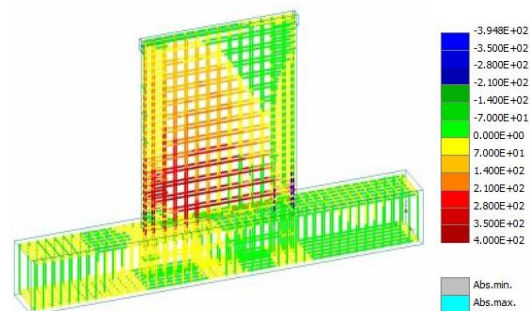


شکل ۱۹- طرح آرماتورگذاری قطری



شکل ۱۶- تحلیل مدل بر اساس خاموت گوشه

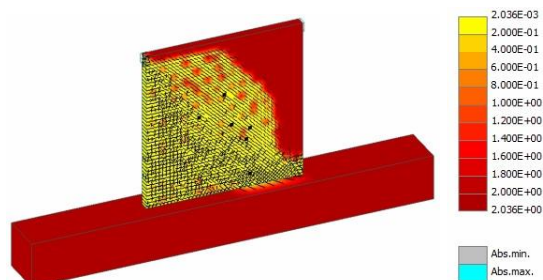
اشکال نهایی این تحلیل در شکل ۱۷ و ۱۸ نشان داده شده است.



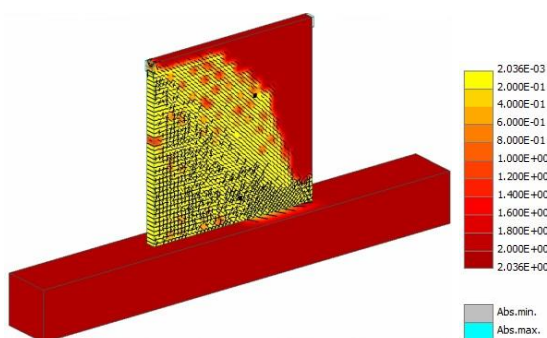
شکل ۱۷- توزیع تنش نهایی در میلگرد

### ۳-۴- میلگرد قطری در دیوار

با افزایش تغییر مکان جانبی، نقش میلگرد قطری در مقاومت برشی افزایش می‌یابد. برای بررسی نقش میلگرد قطری، طبق شکل ۱۹، اثر میلگرد قطری که در دو لایه به صورت ضربدری از دیوار تا فونداسیون قرار دارند، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

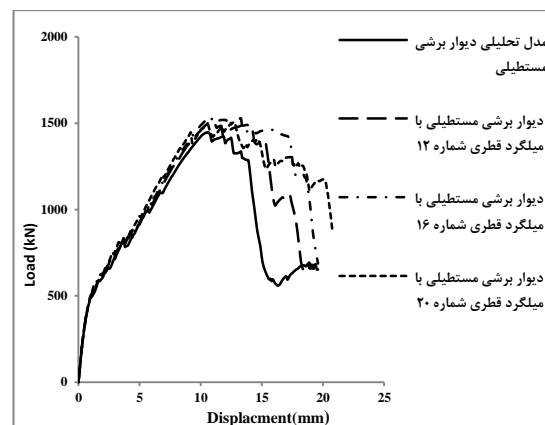


شکل ۲۱- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای میلگرد قطری ۱۲



شکل ۲۲- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای میلگرد قطری ۱۶

نمودار شکل ۲۰، تأثیر افزایش قطر میلگرد قطری در نمونه را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰- تحلیل مدل بر اساس میلگرد قطری

همچنان که مشاهده می‌شود، با استفاده از میلگردهای قطری که در فونداسیون ادامه داده شده است، تغییر مکان برش لغزشی کاهش می‌یابد و باعث بهبود جذب انرژی در دیوار برشی کوتاه می‌گردد.

اشکال نهایی این تحلیل برای هر یک از نمونه‌ها در شکل ۲۱ الی ۲۳ نشان داده شده است.

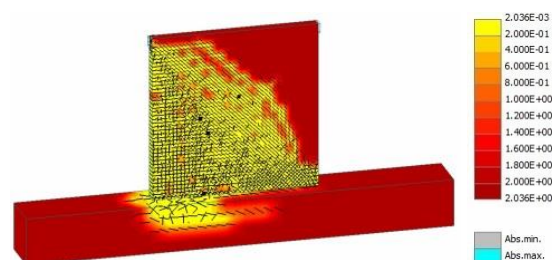
جدول ۶- مشخصات تحلیل مدل بر اساس تمرکز خاموت در گوشه ی دیوار

	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
مدل با خاموت گوشه	۱۴۸۶	۱۱,۱	۸۴۶,۲	۱۶,۲
مدل اولیه/مدل با خاموت گوشه	۱,۰۲	۱,۰۶	۱,۳۵	۱,۰۵

قطری، گسترش ترک و گسیختگی صورت گرفته به وفور می‌باشد.

نتایج ارزیابی تحلیل، در جدول ۷ نشان داده شده است. همچنان که مشاهده می‌شود، با افزایش قطر میلگرد مقاومت برشی نهایی افزایش و شکل‌پذیری کاهش پیدا می‌کند.

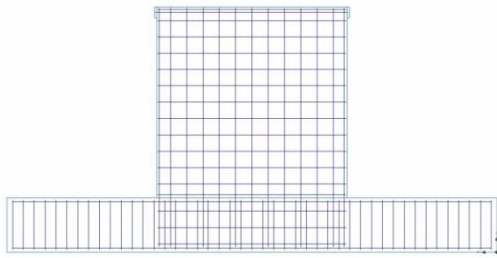
۴-۴- توزیع همزمان میلگرد افقی و قائم در دیوار نقش اصلی آرماتورهای جان، ایجاد مکانیزم خرابایی لازم جهت تشکیل دستک‌های فشاری مورب می‌باشد. نیروهای



شکل ۲۳- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای میلگرد قطری ۲۰

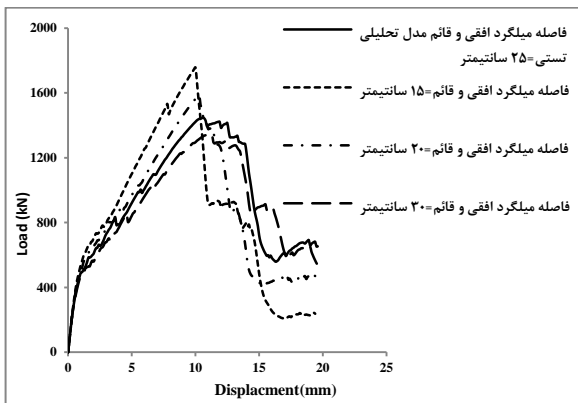
با توجه به اشکال تحلیلی مشاهده می‌شود، بیش از نیمی از دیوارها به کشش کار می‌کنند و با افزایش قطر میلگرد





شکل ۲۴- طرح آرماتورگذاری میلگرد افقی و قائم

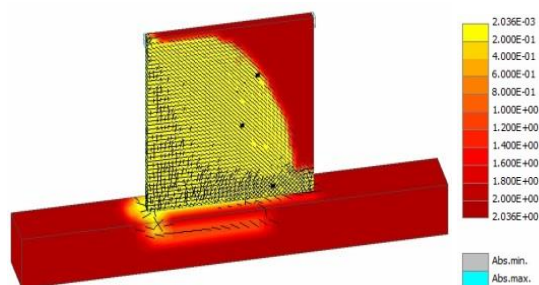
نمودار شکل ۲۵، تأثیر افزایش توزیع میلگرد افقی و قائم را نشان می‌دهد.



شکل ۲۵- تحلیل مدل بر اساس توزیع میلگرد افقی و عمودی

جدول ۷- مشخصات تحلیل مدل بر اساس افزایش قطر میلگرد قطری دیوار

	مقاومت برشی نهایی (کیلو نیوتن)	جابجایی در حداکثر (میلیمتر)	مقاومت پسماند	
			مقاومت (کیلو نیوتن)	در جابجایی (میلیمتر)
مدل اولیه	۱۴۴۴	۱۰,۴	۶۲۲,۳	۱۵,۴
مدل با میلگرد قطری ۱۲ Ø	۱۴۸۸	۱۳,۹	۶۶۹,۷	۱۸,۳
مدل با میلگرد قطری ۱۶ Ø	۱۵۲۳	۱۳	۷۶۵	۱۹,۴
مدل با میلگرد قطری ۲۰ Ø	۱۵۲۳	۱۲,۴	۸۶۲,۹	۲۰,۸
مدل اولیه/ قطری ۱۲ Ø	۱,۰۳	۱,۳۳	۱,۰۷	۱,۱۸
مدل اولیه/ قطری ۱۶ Ø	۱,۰۵	۱,۲۵	۱,۲۲	۱,۲۵
مدل اولیه/ قطری ۲۰ Ø	۱,۰۵	۱,۱۹	۱,۳۸	۱,۳۵

شکل ۲۶- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای  $S=15\text{cm}$ 

کششی ایجادشده در آرماتورهای قائم و افقی، مؤلفه‌های نیرو در دستک‌های فشاری را متعادل می‌سازند و در نتیجه مکانیزم مقاومت برشی را در دیوارها تقویت می‌نمایند. فولادهای افقی و قائمی که توسط ترک‌های مورب قطع می‌شوند، به مقدار قابل توجهی بر روی مقاومت برشی دیوار تأثیر می‌گذارند. فولادهای افقی، برش را به صورت نیروی محوری تحمل و فولادهای قائم برش را با عملکرد تغییر شکل و خم شدن در محل ترک‌های مورب تحمل می‌کنند.

برای بررسی تأثیر توزیع میلگرد افقی و قائم، بر توزیع تنش‌های داخلی، طبق شکل ۲۴، به ترتیب فاصله میلگرد افقی و قائم به طور همزمان به اندازه‌های ۱۵ سانتی متر، ۲۰ سانتی متر و ۳۰ سانتی متر تغییر داده شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

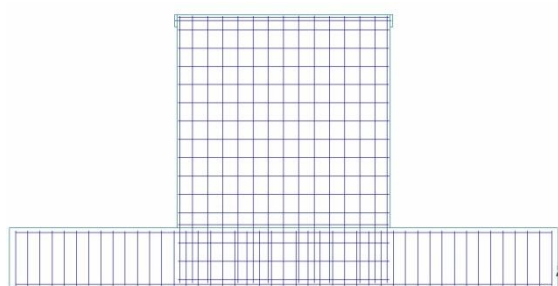
همچنان که مشاهده می‌شود، توزیع فولادهای افقی و قائم، عرض ترک‌ها، فاصله ترک‌ها و توزیع آن‌ها را محدود و کنترل کرده و باعث ابقای مقاومت برشی در امتداد ترک‌ها می‌شود.

اشکال نهایی این تحلیل برای هر یک از نمونه‌ها در شکل ۲۶ الی ۲۸ نشان داده شده است.

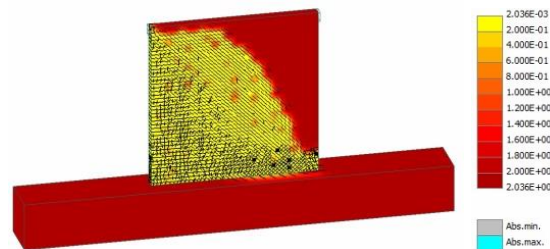
نتایج ارزیابی تحلیل، در جدول ۸ نشان داده شده است. همچنین که مشاهده می‌شود، با افزایش درصد میلگردهای طولی و عرضی، مقاومت نمونه‌ها نیز افزایش می‌یابد.

۴-۵- توزیع میلگرد افقی در دیوار

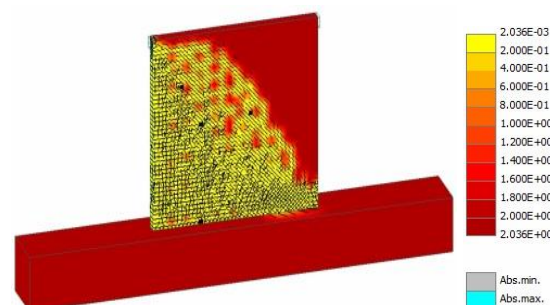
برای بررسی تأثیر توزیع میلگرد افقی، بر توزیع تنش‌های داخلی، طبق شکل ۲۹، به ترتیب فاصله‌ی میلگرد افقی به اندازه‌های ۱۵ سانتی متر، ۲۰ سانتی متر و ۳۰ سانتیمتر تغییر داده‌شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۲۹- طرح آرماتورگذاری میلگرد افقی



شکل ۲۷- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای S=20cm

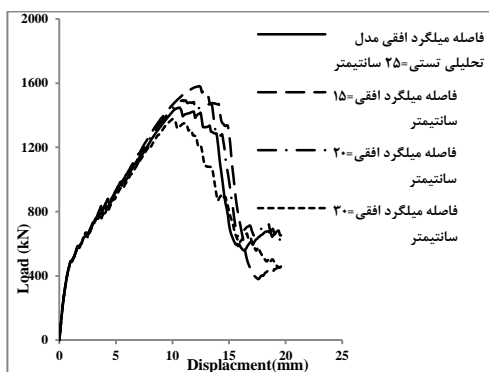


شکل ۲۸- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای S=30cm

با توجه به اشکال تحلیلی مشاهده می‌شود، بیش از نیمی از دیوارها به کشش کار می‌کنند و با افزایش فاصله‌ی میلگردهای افقی و قائم، گسترش ترک و گسیختگی صورت گرفته به وفور می‌باشد.

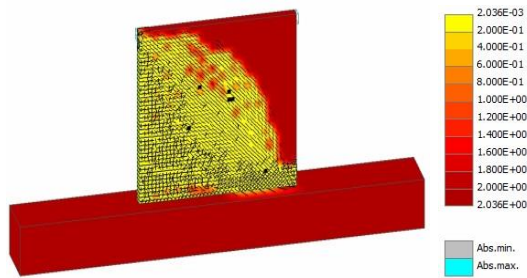
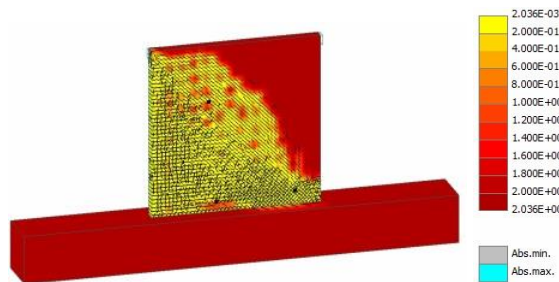
جدول ۸- مشخصات تحلیل مدل بر اساس توزیع میلگرد افقی و قائم در دیوار

مقاومت برشی نهایی (کیلو نیوتن)	جابجایی در حداکثر بار (میلیمتر)	مقاومت پسماند	
		مقاومت (کیلو نیوتن)	در جابجایی (میلیمتر)
S=25 cm مدل اولیه	۱۴۴۴	۶۲۲,۳	۱۵,۴
S=15cm نمونه‌ی	۱۷۳۵	۲۲۲,۱	۱۶,۵
S=20cm نمونه‌ی	۱۵۶۳	۴۲۴,۱	۱۵,۱
S=30cm نمونه‌ی	۱۳۳۷	۵۶۶,۳	۱۹,۴
مدل اولیه / S=15cm نمونه	۱,۲۰	۰,۳۵	۱,۰۷
مدل اولیه / S=20cm نمونه	۱,۰۸	۰,۶۸	۰,۹۸
مدل اولیه / S=30cm نمونه	۰,۹۲	۰,۹۱	۱,۲۵



شکل ۳۰- تحلیل مدل بر اساس توزیع میلگرد افقی

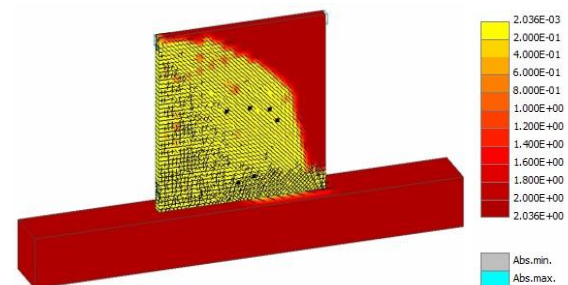
نمودار شکل ۳۰ تأثیر افزایش توزیع میلگرد افقی را نشان می‌دهد. اشکال نهایی این تحلیل برای هر یک از نمونه‌ها در شکل ۳۱ الی ۳۳ نشان داده شده است.

شکل ۳۲- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای  $S=20\text{cm}$ شکل ۳۳- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای  $S=30\text{cm}$ 

با توجه به اشکال تحلیلی مشاهده می‌شود، بیش از نیمی از دیوارها به کشش کار می‌کنند و با افزایش فاصله میلگردهای افقی، گسترش ترک و گسیختگی صورت گرفته به وفور می‌باشد.

نتایج ارزیابی تحلیل، در جدول ۹ نشان داده شده است. همچنان که مشاهده می‌شود، با افزایش فواصل میلگرد افقی، مقاومت برشی و شکل‌پذیری کاهش پیدا می‌کند.

افزایش در مقدار فولادهای افقی، مود تخریب دیوار را از تخریب کششی مورب به تخریب فشار مورب و یا تخریب لغزش برشی تغییر می‌دهد. این بدین خاطر است که در صورت استفاده از مقدار درصد فولادهای افقی، این فولادها بیشتر جاری می‌شوند و لغزش برشی همواره قسمتی از کل تغییر مکان جانبی را تشکیل می‌دهد. افزایش در مقدار درصد فولادهای افقی، باعث افزایش سهم تغییر مکان جانبی مربوط به لغزش برشی می‌گردد.

شکل ۳۱- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای  $S=15\text{cm}$ 

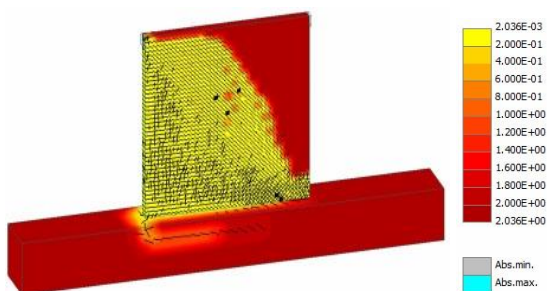
جدول ۹- مشخصات تحلیل مدل بر اساس توزیع میلگرد افقی در دیوار

	مقاومت برشی نهایی (کیلو نیوتن)	جابجایی در حداکثر بار (میلیمتر)	مقاومت پسماند	
			مقاومت (کیلو نیوتن)	درجایی (میلیمتر)
فاصله میلگرد افقی مدل اولیه، ۲۵ cm	۱۴۴۴	۱۰,۴	۶۲۲,۳	۱۵,۴
فاصله میلگرد افقی، ۱۵ cm	۱۵۷۵	۱۲	۴۰۴,۵	۱۷,۲
فاصله میلگرد افقی، ۲۰ cm	۱۴۹۰	۱۰,۸	۶۴۴,۷	۱۵,۴
فاصله میلگرد افقی، ۳۰ cm	۱۳۵۸	۹,۷	۶۳۴,۷	۱۵,۷
مدل اولیه / $S=15\text{cm}$	۱,۰۹	۱,۱۵	۰,۶۵	۱,۱۱
مدل اولیه / $S=20\text{cm}$	۱,۰۳	۱,۰۳	۱,۰۳	۱
مدل اولیه / $S=30\text{cm}$	۰,۹۴	۰,۹۳	۱,۰۱	۱,۰۱

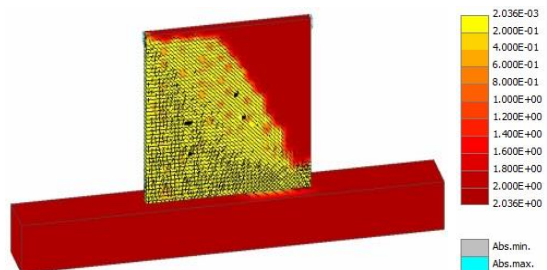
نیروی مقاوم از طرف آرماتورهای قائم، به عرض ترک و جابجایی برش بستگی دارد. مقاومت برشی آرماتورها با یکی از سه مکانیزم، تغییر شکل خمشی آرماتورها، خم

#### ۴-۶- توزیع میلگرد قائم در دیوار

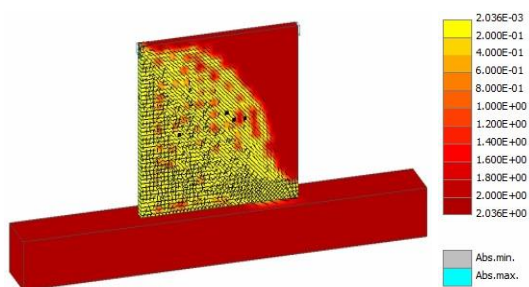
قسمتی از کل برش اعمال شده به دیوار، به وسیله آرماتورهای قطع شده ترک مقاومت می‌گردد. میزان این



شکل ۳۶- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای S=15cm



شکل ۳۷- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای S=20cm

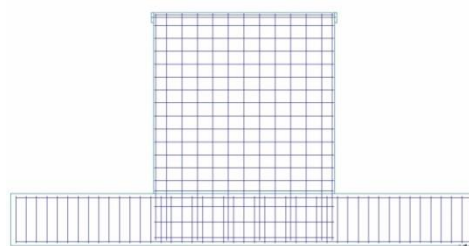


شکل ۳۸- توزیع مقاومت کششی و ترک نهایی برای S=30cm

با توجه به اشکال تحلیلی مشاهده می‌شود، بیش از نیمی از دیوارها به کشش کار می‌کنند و با افزایش فاصله میلگردهای قائم، گسترش ترک و گسیختگی صورت گرفته به وفور می‌باشد.

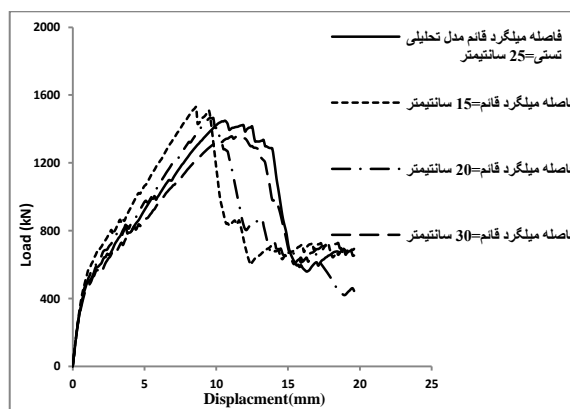
نتایج ارزیابی تحلیل در جدول ۱۰ نشان داده شده است. همچنان که مشاهده می‌شود، با افزایش فواصل میلگرد قائم، مقاومت برشی کاهش و شکل‌پذیری افزایش پیدا می‌کند.

شدن آرماتورها، مقاومت برشی در عرض آرماتورها تأمین می‌گردد. برای بررسی تأثیر توزیع میلگرد قائم، بر توزیع تنش‌های داخلی، طبق شکل ۳۴، به ترتیب فاصله‌ی میلگرد قائم به اندازه‌های ۱۵ سانتی متر، ۲۰ سانتی متر و ۳۰ سانتی متر تغییر داده شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۳۴- طرح آرماتورگذاری میلگرد قائم

نمودار شکل ۳۵ تأثیر افزایش توزیع میلگرد قائم را نشان می‌دهد. اشکال نهایی این تحلیل برای هر یک از نمونه‌ها در شکل ۳۶ الی ۳۸ نشان داده شده است.



شکل ۳۵- تحلیل مدل بر اساس توزیع میلگرد قائم

همچنان که مشاهده می‌شود، درصد آرماتور قائم در مقاومت برشی دیوار رابطه‌ی مستقیمی دارد، یعنی با افزایش درصد آرماتور قائم بدون توجه به نوع تخریب دیوار، مقاومت برشی نهایی افزایش یافته و کاهش آن باعث کاهش نیروی قابل تحمل برشی می‌گردد؛ اما این عمل باعث به وجود آمدن تخریب لغزشی دیوار می‌گردد.

جدول ۱۰- مشخصات تحلیل مدل بر اساس توزیع میلگرد قائم در دیوار

	مقاومت برشی نهایی (کیلو نیوتن)	جابجایی در حداکثر بار (میلیمتر)	مقاومت پسماند	
			مقاومت (کیلو نیوتن)	درجابجایی (میلیمتر)
فاصله میلگرد قائم مدل اولیه، ۲۵cm	۱۴۴۴	۱۰،۴	۶۲۲،۳	۱۵،۴
فاصله میلگرد قائم ، ۱۵ cm	۱۵۰۴	۸،۳	۶۱۹	۱۲،۳
فاصله میلگرد قائم ، ۲۰ cm	۱۴۶۲	۹،۵	۶۸۰،۴	۱۴،۱
فاصله میلگرد قائم ، ۳۰ cm	۱۳۴۲	۱۱،۲	۶۳۹،۶	۱۵،۲
مدل اولیه/ S=15cm	۱،۰۴	۰،۷۹	۰،۹۹	۰،۷۹
مدل اولیه/ S=20cm	۱،۰۱	۰،۹۱	۱،۰۹	۰،۹۱
مدل اولیه/ S=30cm	۰،۹۲	۱،۰۷	۱،۰۲	۰،۹۸

## ۵- نتیجه گیری

در این تحقیق، دیوار برشی کوتاه با مقطع مستطیلی و نسبت ابعادی ارتفاع به طول برابر یک، مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر پارامترهایی نظیر تمرکز میلگردهای طولی و عرضی در لبه دیوار، استفاده از میلگردهای قطری و تغییر فواصل میلگرد های افقی و قائم بر روی رفتار دیوارهای برشی کوتاه، به صورت عددی مورد مطالعه قرار گرفت. مقایسه رفتار دیوارها منجر به نتایج ذیل گردید:

۱- در بررسی نقش تمرکز میلگرد در گوشه‌ی مدل، با افزایش قطر میلگرد، مقاومت برشی نهایی افزایش و شکل پذیری کاهش پیدا می‌کند. با تمرکز  $\emptyset 30$  در دو گوشه‌ی دیوار، جابجایی در نقطه پیک، ۴۸ درصد کاهش پیدا می‌کند.

۲- در بررسی نقش تمرکز خاموت در گوشه مدل، با تمرکز خاموت گوشه، مقاومت برشی نهایی و شکل پذیری افزایش پیدا می‌کند.

۳- در بررسی نقش میلگرد قطری در مدل، با افزایش قطر میلگرد مقاومت برشی نهایی افزایش و شکل پذیری کاهش پیدا می‌کند. با ایجاد میلگرد قطری  $\emptyset 12$  در دو طرف دیوار، جابجایی در نقطه پیک، ۳۳ درصد افزایش پیدا می‌کند.

۴- با افزایش درصد میلگردهای طولی و عرضی در دیوار، مقاومت نمونه‌ها نیز افزایش می‌یابد، ولی این افزایش مقاومت به طور قابل ملاحظه در روابط آیین‌نامه دیده نمی‌شود.

۵- با افزایش فواصل میلگرد افقی در دیوار، مقاومت برشی و شکل پذیری کاهش پیدا می‌کند. با افزایش فاصله از ۲۵ cm به ۳۰ cm، مقاومت برشی نهایی ۶ درصد کاهش پیدا می‌کند.

۶- با افزایش فواصل میلگرد قائم در دیوار، مقاومت برشی کاهش و شکل پذیری افزایش پیدا می‌کند. با افزایش فاصله از ۲۵ cm به ۳۰ cm، مقاومت برشی نهایی ۸ درصد کاهش پیدا می‌کند.

## ۶- مراجع

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Greifenhagen, C., Lestuzzi, P. (2005). "Static cyclic tests on lightly reinforced concrete shear walls". Engineering Structures, vol. 27, pp.1703-1712.

- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Wood, S.L. (1990). "Shear Strength of Low- Rise Reinforced Concrete Walls". ACI Structural Journal, Jan–Feb, Vol.87, No.1, PP.99-107.
- [8] OECD/NEA/CSNI. (1991) . Shear Wall ISP NUPEC's Seismic Ultimate Dynamic Response Test Comparison Report. Issy Les Moulineaux. France. Report No. OCDE/GD(96)188. Committee on the Safety of Nuclear Installations OECD Nuclear Energy Agency.412 pp.
- [9] Nuclear Power Engineering Corporation of Japan (NUPEC). (1996). "Comparison Report, Seismic Shear Wall ISP, NUPEC's Seismic Ultimate Dynamic Response Test,". Report No. NU- SSWISP-D014, Organization for Economic Co-Operation and Development, Paris, 407 pp.
- [10] Cervenka, V., Gerstle, K.H. (1970). "Inelastic finite element analysis of reinforced concrete plane loads". PH D Dissertation, university of Colorado, Boulder
- [۱۱] پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. (۱۳۹۰). "دستورالعمل کاربردی بهسازی لرزه‌ای، مشخصات فنی و جزئیات اجرایی به روش دیوار برشی". خردادماه، شماره‌ی ۲۲۶۶-۱۰۲۹۰/۲.