

تحقیقات بتن

سال هشتم، شماره دوم

پائیز و زمستان ۹۴

ص ۱۱۷-۱۲۸

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۵

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۲۶

یادداشت پژوهشی

## مقایسه تأثیر مساحت و موقعیت گشودگی بر رفتار و ظرفیت نهایی دیوارهای برشی بتن مسلح

ابوالفضل عربزاده

دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس

مهران مظفر جزی \*

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشگاه تربیت مدرس

### چکیده

گاهی به دلیل مسائل معماری و محدودیت های موجود در پلان سازه، گشودگی هایی مانند در، پنجره و داکت های تأسیساتی در دیوار برشی بتن مسلح ایجاد می گردد که باعث تغییراتی در رفتار، سختی و مقاومت نهایی دیوار برشی بتن مسلح می گردد. هدف از انجام این پژوهش مقایسه تأثیر پارامترهای مساحت و موقعیت گشودگی بر رفتار و ظرفیت نهایی دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی های منظم می باشد. در این تحقیق از نرم افزار آباکوس برای مدل سازی و بررسی پارامترهای مورد نظر استفاده شده است. برای صحت سنجی نتایج حاصل از نرم افزار آباکوس، نمونه های آزمایشگاهی آگودا در این نرم افزار مدل سازی گردیده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردیده است. پس از صحت سنجی نرم افزار، نمونه هایی دارای یک و دو ردیف گشودگی مشابه با شرایط آزمایش طراحی گردیده و برای تحلیل از آنالیز اجزای محدود بتن آرمه و مدل رفتاری خسارت خمیری در نرم افزار آباکوس استفاده گردیده است. نتایج حاکی از آن است که مساحت ناحیه مؤثر تحت فشار دیوار از مهم ترین عوامل تأثیر گذار بر مقاومت نهایی دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی می باشد که مساحت و موقعیت گشودگی به طور مستقیم باعث تغییر در مساحت این ناحیه می گردند. همچنین می توان نتیجه گرفت، موقعیت گشودگی در مقایسه با مساحت آن پارامتری تأثیر گذارتر در کاهش ظرفیت نهایی دیوارهای برشی بتن مسلح می باشد.

واژه های کلیدی: دیوار برشی بتن مسلح، موقعیت گشودگی، مساحت گشودگی، مقاومت نهایی، ناحیه مؤثر فشاری.

\* نویسنده مسئول: mehran.mozaffar@gmail.com

## ۱- مقدمه

در زلزله‌های نزدیک به گسل تأثیر زیادی بر رفتار دیوارهای این نمونه‌ها خواهد داشت [۸]. همچنین، واراشینا<sup>۵</sup> و همکاران به بررسی اثر ابعاد و موقعیت گشودگی در دیوارهای برشی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که اندازه و موقعیت گشودگی بر رفتار و ظرفیت برشی نمونه‌های دارای گشودگی تأثیر گذار خواهد بود [۹].

بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که تا کنون مطالعات تحلیلی بر روی مقایسه تأثیر پارامترهای موقعیت و مساحت گشودگی بر رفتار و ظرفیت جانبی دیوارهای برشی بتن مسلح انجام نشده است. هدف از انجام این مقاله مقایسه تأثیر پارامترهای موقعیت و مساحت (ابعاد) گشودگی بر رفتار و ظرفیت برشی دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی‌های منظم می‌باشد. همچنین تمهیداتی برای طراحی بهینه دیوارهای برشی با دو ردیف گشودگی ارایه شده است که پیش از این بحثی راجع به آن انجام نشده است.

## ۲- مطالعات آزمایشگاهی آگودا بر روی دیوارهای برشی بتن مسلح دارای دو ردیف گشودگی

در سال ۱۹۹۱ دو نمونه مقیاس شده دیوار برشی بتنی با دو ردیف گشودگی توسط گابریل آگودا در دانشگاه داندی مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت [۵]. در این تحقیق برای بررسی روند مدل‌سازی کامپیوتری دیوارهای مورد مطالعه و اطمینان از صحت مدل‌سازی آن‌ها، از نتایج آزمایشگاهی آگودا استفاده گردیده است. نحوه میلگردگذاری و هندسه نمونه آزمایشگاهی ایجادشده در شکل‌های ۱ و ۲ و ۳ نشان داده شده است. تمامی ابعاد بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

### ۲-۱- ویژگی مصالح مصرفی

در این نمونه‌ها از بتن ریزدانه<sup>۶</sup> استفاده شده است که در دیوارهای با ضخامت کم بیشترین کاربرد را ایفا نموده و خصوصیات آن کاملاً منطبق بر بتن معمولی می‌باشد. این خصوصیت سبب می‌گردد تا رفتار قابل مقایسه‌ای با دیوار در مقیاس واقعی ایجاد گردد. برای میلگردگذاری نمونه‌ها از میلگرد با قطر ۸ میلی‌متر برای میلگردهای عرضی تیر هم‌بند و از میلگرد با قطر شش میلی‌متر برای میلگردگذاری سایر قسمت‌های دیوار برشی استفاده گردیده

دیوار برشی بتن مسلح دیوارهای بتن آرمه‌ای هستند که از سختی داخل صفحه‌ای زیادی برخوردار بوده و مانند یک تیرکنسول قائم و عمیق عمل کرده و در برابر برش وارده و لنگرهای خمشی ناشی از بارهای جانبی مقاومت می‌کنند. در اکثر مواقع، به دلیل مسائل معماری و محدودیت‌های موجود در پلان ساختمان، گشودگی‌هایی مانند در و پنجره در داخل دیوار قرار می‌گیرد که باعث تغییر در رفتار، شکل‌پذیری، مقاومت و سختی دیوار برشی می‌گردد [۱]. نحوه چینش گشودگی‌ها در دیوار می‌تواند به صورت پله‌ای (متناوب) و یا در ردیف‌های منظم باشند. در حالتی که گشودگی‌ها به صورت منظم در چند ردیف قرار گیرند، دیوار برشی بتنی در واقع ترکیبی از چند دیوار می‌باشد که به وسیله تیرهای هم‌بند به یکدیگر متصل می‌گردند [۲]. تیر هم‌بند نقش اساسی در عملکرد لرزه‌ای این نوع از دیوارها داشته و در صورتی که به نحوی مناسب طراحی و اجرا گردند، می‌تواند ضمن دارا بودن مقاومت کافی در هنگام وقوع زلزله مانند فیوز عمل نموده و با ایجاد تغییر شکل‌های کافی بخش قابل توجهی از انرژی زلزله را قبل از آسیب دیدن قسمت‌های اصلی دیوار مستهلک می‌نماید [۳].

تاکنون تحقیقات گسترده‌ای بر روی رفتار و ظرفیت برشی دیوارهای بتن مسلح دارای گشودگی صورت گرفته است. وایلین<sup>۱</sup> برای اولین بار ظرفیت برشی دیوارهای برشی بتنی دارای گشودگی را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرارداد و به این نتیجه رسید که وجود گشودگی باعث تغییر در رفتار و مقاومت دیوار برشی خواهد شد [۴]. آگودا<sup>۲</sup> نحوه گسترش ترک‌ها و مقاومت برشی نهایی دیوار برشی با دو ردیف گشودگی را مورد بررسی قرار داد [۵]. پائولی<sup>۳</sup> و همکاران شکل‌پذیری دیوارهای برشی دارای گشودگی را مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسیدند که تیر هم‌بند تأثیر مهمی بر شکل‌پذیری نمونه‌های دارای گشودگی دارد [۶]. گوان<sup>۴</sup> و همکارانش به توسعه مدل اجزا محدود غیر خطی در مورد این نوع از دیوارها پرداختند [۷].

«خاتمی» و همکاران به بررسی رفتار لرزه‌ای دیوارهای برشی دارای گشودگی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مؤلفه قائم نیروی زلزله

<sup>5</sup> Warashina

<sup>6</sup> microconcrete

<sup>1</sup> W.Lin

<sup>2</sup> Aguda

<sup>3</sup> Paulay

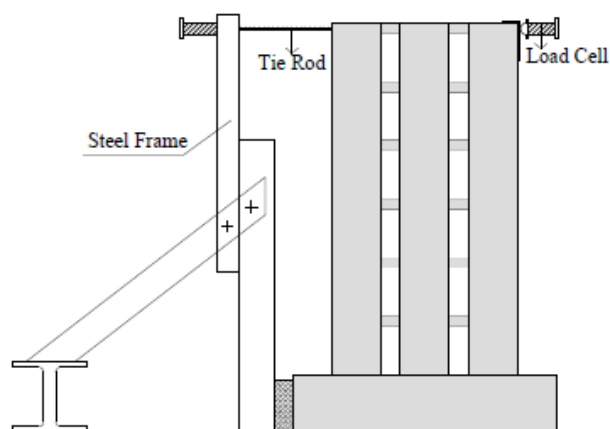
<sup>4</sup> Guan

جدول ۲- مشخصات میلگرد مصرفی [۵]

مدول الاستیسیته (KN/mm <sup>2</sup> )	مقاومت تسلیم متوسط (MPa)	نوع و اندازه میلگردها
۱۹۵	۳۱۲	۶ میلیمتر ساده
۲۰۰	۵۵۸	۸ میلیمتر آجدار

### ۲-۲- بارگذاری نمونه‌ها

پس از ساخت نمونه‌ها و نصب وسایل اندازه‌گیری جابه‌جایی در آن‌ها، نمونه‌ها در تراز فوقانی مورد بارگذاری قرار گرفته‌اند. بار به وسیله یک جک هیدرولیکی که در گوشه بالای دیوار در سمت راست آن قرار گرفته است، اعمال شده است. پایداری دیوار به وسیله یک قاب فولادی متصل به میلگرد پیش‌تنیده تأمین شده است. جزییات بارگذاری وارده به نمونه‌های آزمایشگاهی آگودا در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- بارگذاری نمونه‌های آزمایشگاهی آگودا [۵]

### ۳- روند مدل‌سازی نمونه‌های آزمایشگاهی در نرم

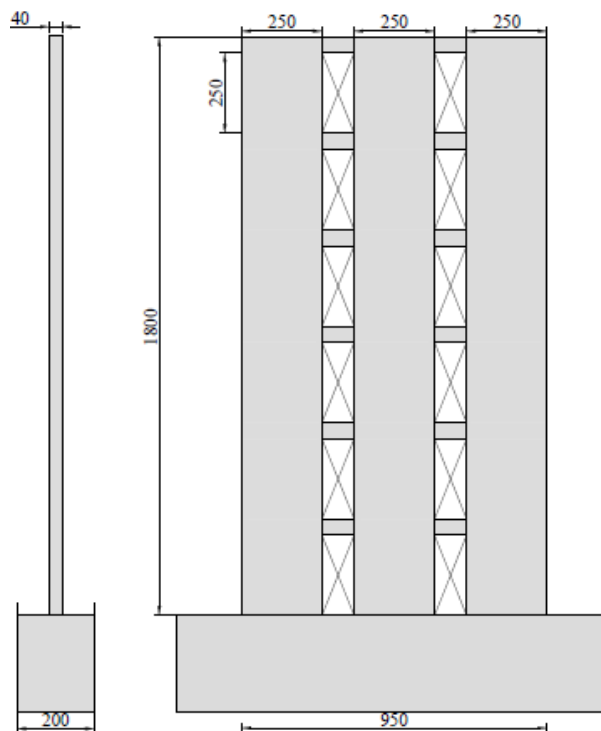
#### افزار آباکوس

#### ۳-۱- پارامترهای مورد استفاده در مدل خسارت

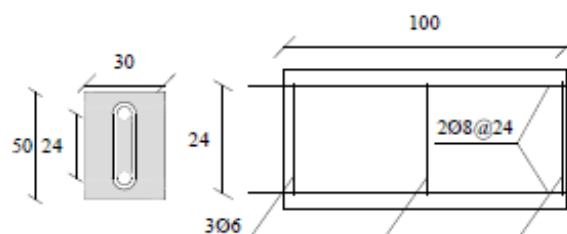
##### خمیری بتن [۱۰]

مدل خسارت خمیری از پیچیده‌ترین و پرکاربردترین مدل‌های رفتاری بتن می‌باشد. مدل خسارت خمیری به دلیل عدم مدل‌سازی صریح ترک و نیروهای انتقالی در سطح ترک، نیاز به مدل‌های رفتاری کمتری نسبت به مدل‌های دیگر داشته و به‌طور کلی برای اغلب مسائل مهندسی و کاربردی روشی قابل قبول محسوب می‌شود. به‌طور کلی مدل‌های خسارت خمیری علاوه بر سه ویژگی مدل‌های مبتنی بر تئوری خمیری که به ترتیب معیار تسلیم برای شروع تغییر شکل‌های خمیری، قانون سخت‌شدگی یا نرم‌شدگی

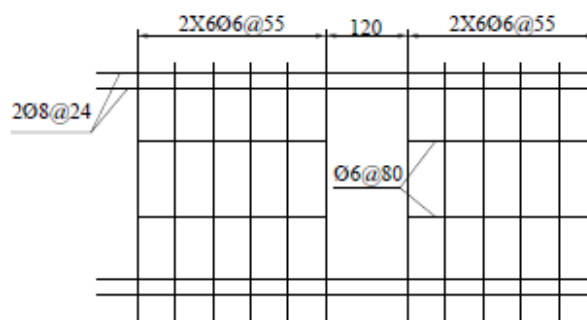
است. مشخصات میلگرد و بتن مصرفی در نمونه‌ها در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.



شکل ۱- نمای کلی دیوار طراحی شده توسط آگودا [۵]



شکل ۲- میلگردگذاری تیر هم‌بند [۵]



شکل ۳- میلگردگذاری دیوار برشی بتن مسلح [۵]

جدول ۱- مشخصات بتن مصرفی [۵]

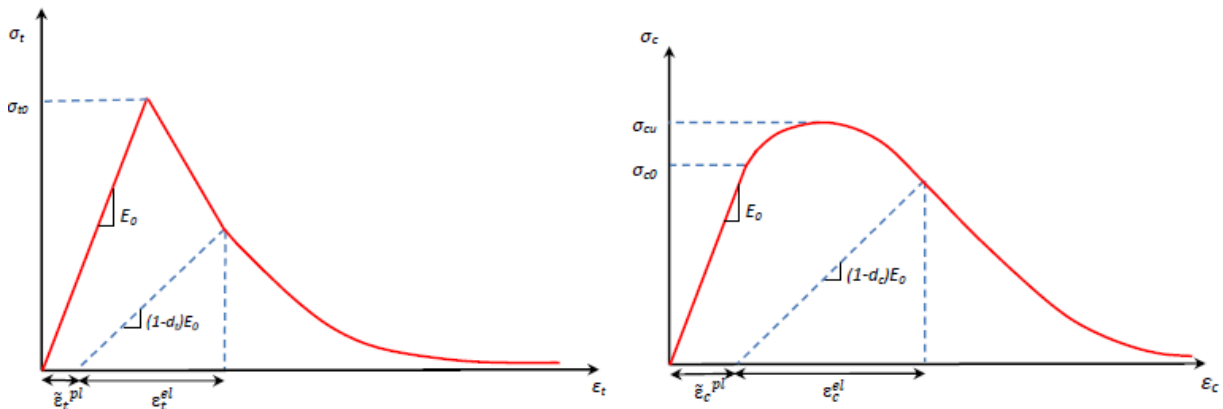
مدول الاستیسیته (KN/mm <sup>2</sup> )	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (MPa)	نوع بتن
۲۳/۵	۲۵	ریزدانه

مقاومت بتن به مقاومت نظیر ترک خوردگی و مقاومت فشاری بتن برسد، این رفتار خطی ادامه می یابد. مقاومت ترک خوردگی بتن با آغاز ایجاد ترک های پیش رونده و رفتار غیر خطی بتن در فشار با گسترش ریز ترک ها در بتن آغاز می گردد که به طور معمول حد شروع رفتار غیر خطی فشاری بتن حدود ۳۰ درصد مقاومت نهایی فشاری بتن در نظر گرفته می شود. رفتار بتن در فشار و کشش تک محوری در حالت غیر خطی به صورت درشت مقیاس توسط منحنی نرم شدگی کرنشی در نظر گرفته می شود. پارامتر خسارت یا آسیب دیدگی نمونه بتنی در این روش به صورت کاهش در سختی سکانتی بتن تعریف می گردد. شکل ۵ رابطه میان تنش و کرنش در حالات فشار و کشش تک محوری را نشان می نماید. در شکل ۵ شاخص های  $d_c$  و  $d_t$  مشخص کننده کاهش تماس ذرات و از بین رفتن پیوندهای ریزساختار می باشند و برای هر وضعیت تنش کرنش یک مقدار مشخص آسیب دیدگی به بتن اختصاص داده می شود. در این پژوهش، این مقادیر طبق فرض اواناته و همکاران در هر دو حالت فشار و کشش تک محوری قبل از رسیدن ماده به بیشینه مقاومت، شاخص خسارت صفر بوده و با ورود به ناحیه نرم شدگی کرنشی، مقدار شاخص خسارت برابر با نسبت مقاومت از دست رفته به بیشینه مقاومت می باشد.

برای تعیین وضعیت تکامل سطح تسلیم و قانون جریان برای تعیین نمو کرنش های خمیری، دارای پارامتر خسارت برای محاسبه آسیب دیدگی المان می باشند. سه ویژگی اول در نرم افزار به صورت زاویه اتساع، خروج از مرکزیت، نسبت مقاومت فشاری دو محوری بتن به مقاومت فشاری تک محوری،  $KC$  نسبت دومین نامتغیر تانسور تنش در نصف النهار کششی به مقدار آن در نصف النهار فشاری و ویسکوزیته تعریف می گردد. زاویه اتساع بتن مهم ترین پارامتر تأثیر گذار بر نتایج نمونه ها می باشد. زاویه اتساع برابر با نسبت نمو کرنش خمیری حجمی به نمو کرنش خمیری انحرافی می باشد و برای بتن معمولاً بین ۲۰ تا ۴۰ درجه فرض می شود که این مقدار بر روی شکل پذیری مصالح و نتایج شکل پذیری کل مدل تأثیر قابل توجهی دارد و با افزایش این مقدار شکل پذیری نیز افزایش می یابد. در این تحقیق با توجه به حساسیت سنجی انجام گرفته و مقایسه نتایج نرم افزار با نتایج آزمایشگاهی مقدار زاویه اتساع ۳۳ درجه در نظر گرفته شده است.

### ۳-۲- رفتار بتن در کشش و فشار تک محوری [۱۰]

رفتار بتن در اثر تنش های فشاری و کششی تک محوری در ابتدا به صورت خطی در نظر گرفته می شوند و تا زمانی که به ترتیب



شکل ۵- مدل خسارت خمیری بتن در فشار و کشش تک محوری [۱۰]

### ۳-۴- مدل فشاری بتن مسلح [۱۰]

در این پژوهش مدل های رفتاری هاگنستاد، پوپویچ و مایاکاوا برای مدل سازی در نرم افزار صحت سنجی شده اند. نتایج حاکی از عدم حساسیت مدل سازی به مدل های فشاری بتن می باشد. از مدل فشاری هاگنستاد برای پیش بینی مدل فشاری بتن استفاده شده است. در توسعه مدل هاگنستاد هدف اصلی، پیش بینی رفتار قبل از حد

### ۳-۳- مدل رفتاری میلگرد [۱۲]

به منظور واقعی تر شدن رفتار سازه باید اثر اندرکنش بین بتن و میلگرد را در رفتار المان با اصلاح رفتار میلگرد در نظر گرفت. در این پژوهش از مدل بلایی برای در نظر گرفتن این رفتار استفاده گردیده است. شکل ۶ نمودار رفتاری میلگرد بلایی را نشان می دهد.

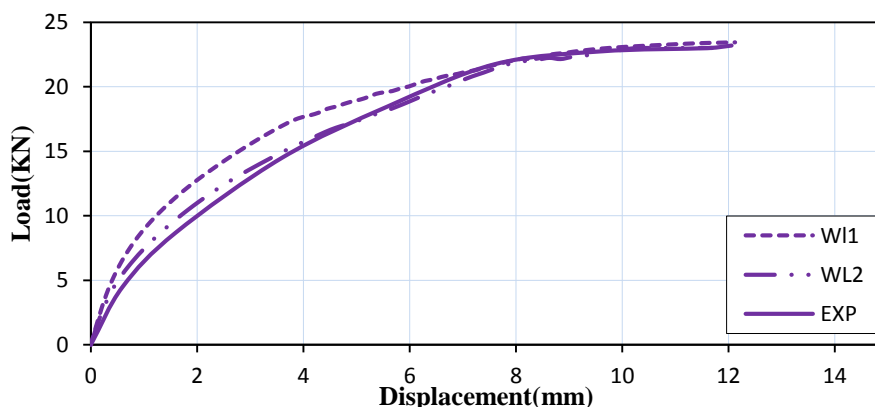
نهایی مقاومت بتن بوده است. مدل رفتاری هاگنستاد طبق روابط ۱ و ۲ تعیین می گردد.

$$\sigma_t = f_t \left( \frac{\varepsilon_{III}}{\varepsilon_t} \right)^c \quad (3)$$

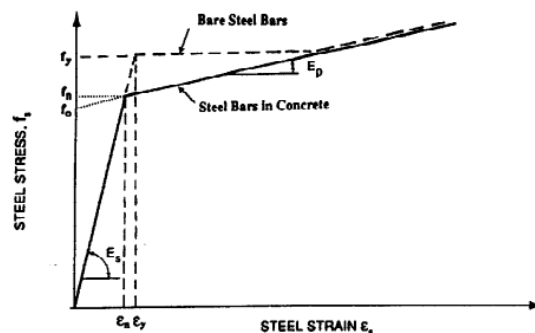
#### ۴- صحت سنجی مدل سازی کامپیوتری توسط نتایج آزمایشگاهی

در این قسمت یکی از نمونه های آزمایشگاهی آگودا توسط نرم افزار آباکوس مدل سازی شده است. برای مدل سازی المان بتنی از المان های سه بعدی محیط پیوسته و برای مدل سازی المان های میلگرد از المان تیر دو گرهی مرتبه اول استفاده شده است. شرایط مرزی توسط نرم افزار آباکوس یک بار بادر نظر گرفتن فونداسیون موجود در نمونه آزمایشگاهی (WL1) و یک بار با حذف فونداسیون موجود و گیردار فرض نمودن پای دیوار (WL2) ایجاد شده است [۱۰]. نمودار بار تغییر مکان حاصل از تحلیل غیر خطی نمونه ها در نرم افزار و همچنین نتایج آزمایشگاهی آگودا در شکل ۷ نشان داده شده است.

همان طور که در شکل ۷ مشاهده می گردد، مدل های ایجاد شده توسط نرم افزار در ناحیه غیر خطی با دقت قابل قبولی بر نتیجه آزمایشگاهی منطبق شده اند. عدم مدل سازی فونداسیون باعث افزایش سختی اولیه و عدم انطباق بر نتایج آزمایشگاهی در این ناحیه گردیده است. از طرفی حذف فونداسیون باعث افزایش چشمگیر در سرعت تحلیل نرم افزار می گردد. بنابراین با توجه به این که در این تحقیق مقاومت برشی نهایی دیوار در ناحیه غیر خطی مد نظر است می توان با حذف فونداسیون سرعت تحلیل نمونه ها را افزایش داد و به درستی نتایج در ناحیه غیر خطی اطمینان حاصل نمود.



شکل ۷- نمودار بار- تغییر مکان دیوار آگودا بر اساس نتایج آزمایشگاهی و مدل اجزا محدود



شکل ۶- مدل رفتاری بلاری [۱۲]

$$f_{ci} = -f_p \left[ 2 \left( \frac{\varepsilon_{ci}}{\varepsilon_p} \right) - \left( \frac{\varepsilon_{ci}}{\varepsilon_p} \right)^2 \right] < 0 \quad (1)$$

$$E_c = 2 \frac{f_p}{\varepsilon_p} \quad (2)$$

#### ۳-۵- سخت شدگی کششی بتن مسلح [۱۳]

پدیده سخت شدگی کششی بتن مسلح باعث می گردد تا بتن ترک خورده باعث کاهش کرنش میلگردها در فاصله بین ترک ها گردد. این پدیده در اثر انتقال تنش های چسبندگی از میلگرد به بتن رخ می دهد و تأثیر قابل توجهی بر تغییر شکل و عرض ترک اعضای بتن مسلح دارد. اثر سخت شدگی کششی را می توان به صورت اصلاح سختی میلگرد و یا اصلاح مدل رفتاری بتن در کشش در نظر گرفت. در این پژوهش از مدل شیما و همکاران مبتنی بر اصلاح رفتار کششی بتن استفاده گردیده است. رابطه ۳ مدل سخت شدگی کششی شیما و همکاران را نشان می دهد. در این رابطه مقدار پارامتر C برای میلگرد آجدار 0/4 و برای شبکه

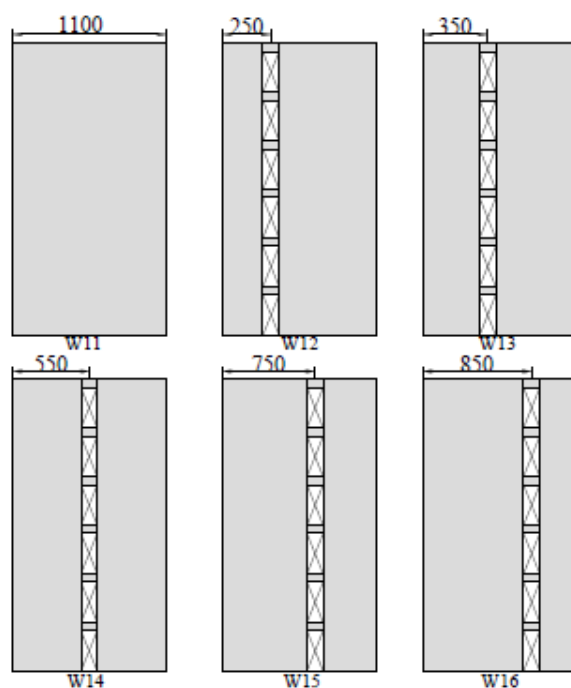
در شکل ۸ مود خرابی دیوار مورد مطالعه در شرایط آزمایشگاهی و مدل ایجاد شده در نرم افزار نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می گردد، در هر دو حالت تخریب دیوار به صورت شکست خمشی می باشد. همچنین همان طور که بیان شد، تیرهای هم بند با تحمل تغییر شکل و تخریب کامل همانند یک فیوز عمل نموده و باعث می گردد به قسمت های اصلی دیوار آسیب کمتری وارد گردد. از بررسی نمونه ی آزمایشگاهی در نرم افزار آباکوس می توان به درستی نتایج حاصل از این نرم افزار در مورد دیوارهای برشی بتن مسلح مورد مطالعه اطمینان حاصل نمود.



شکل ۸- مقایسه مود خرابی دیوار مورد مطالعه در آزمایشگاه و نتایج تحلیل نرم افزار [۵]

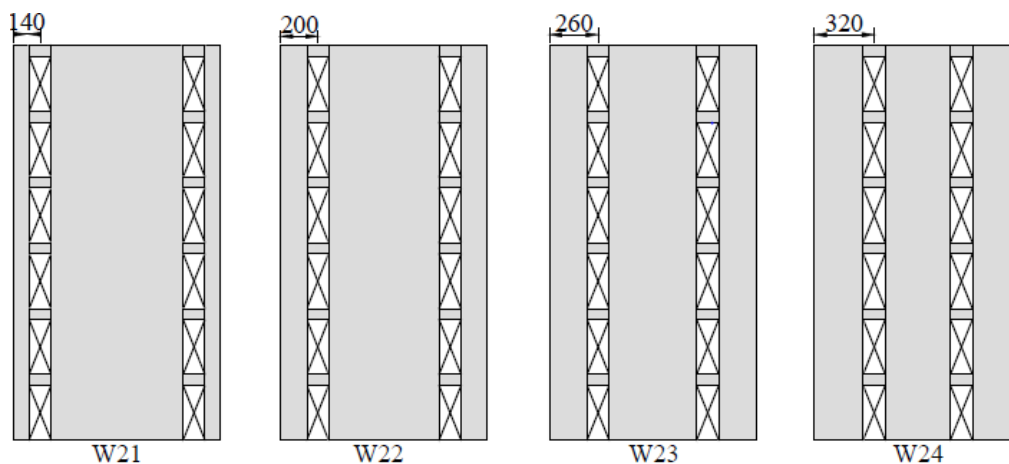
**۵- مطالعه متغیرها بر روی مدل های طراحی شده**  
در این قسمت بر مبنای دیوارهای طراحی شده توسط آگودا، یک نمونه دیوار بدون گشودگی و نمونه هایی با یک و دو ردیف گشودگی طراحی شده است. در نمونه های دارای یک ردیف گشودگی، مکان گشودگی نسبت به لبه سمت چپ دیوار متغیر دهانه دیوار می باشند.

می باشد. مدل های طراحی شده دارای یک ردیف گشودگی در شکل ۹ آورده شده است. همان طور که مشاهده می گردد، نمونه ۴ دارای گشودگی متقارن نسبت به محور مرکزی دیوار و سایر نمونه ها دارای گشودگی هایی با خروج از مرکزیت نسبت به وسط دهانه دیوار می باشند.



شکل ۹- نمونه های طراحی شده دارای یک ردیف گشودگی

در نمونه‌های دارای دو ردیف گشودگی موقعیت دو ردیف گشودگی به صورت متقارن نسبت به یکدیگر تغییر می‌کنند. مدل‌های طراحی شده با دو ردیف گشودگی در شکل ۱۰ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در هر دو مورد فاصله مرکز گشودگی نسبت به لبه ی دیوار مشخص شده است. مشخصات مصالح مصرفی و بارگذاری مشابه با نمونه‌های آزمایشگاهی می‌باشد.

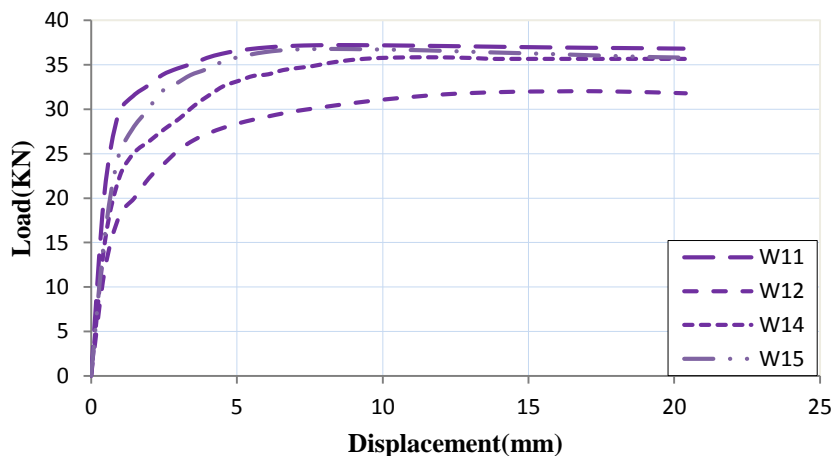


شکل ۱۰- نمونه‌های طراحی شده دارای دو ردیف گشودگی

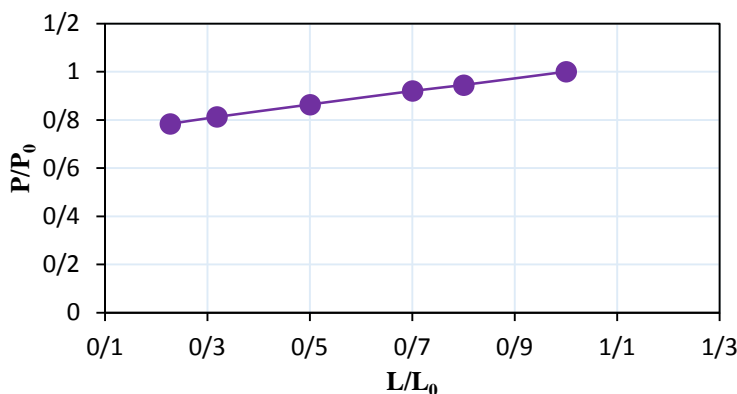
ناحیه تحت فشار را بر روی ظرفیت برشی دیوارهای دارای گشودگی نشان می‌دهد. محور افقی نسبت فاصله مرکز گشودگی تا لبه سمت چپ دیوار به عرض کل دیوار و محور قائم نسبت ظرفیت برشی دیوار در هر حالت به ظرفیت دیوار در حالت بدون گشودگی را نشان می‌دهد. با توجه به جهت بارگذاری از سمت راست به چپ، محور افقی نمودار شکل ۱۲ نمایانگر مساحتی از دیوار است که به طور کامل تحت فشار قرار گرفته است. در شکل ۱۲ مقدار  $L$  فاصله سنترلاین گشودگی تا لبه سمت چپ دیوار،  $L_0$  عرض کل دیوار برابر  $1/1$  متر،  $P$  ظرفیت برشی دیوار و  $P_0$  ظرفیت برشی نمونه بدون گشودگی برابر ۳۷ کیلونیوتن می‌باشد.

#### ۵- نتایج حاصل از تحلیل غیر خطی نمونه‌های طراحی شده توسط نرم‌افزار آباکوس

در این قسمت نمونه‌های طراحی شده در نرم‌افزار آباکوس مدل‌سازی گردیده و تحلیل غیر خطی بر روی نمونه‌ها توسط نرم افزار آباکوس اعمال می‌گردد. نمودار بار تغییر مکان تعدادی از این نمونه‌ها در شکل ۱۱ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، با تغییر موقعیت گشودگی در دیوار، مقاومت برشی نهایی در نمونه‌ها تغییر می‌کند. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش مساحت ناحیه تحت فشار در دیوار که متأثر از موقعیت گشودگی جهت بارگذاری می‌باشد، ظرفیت برشی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. شکل ۱۲ تأثیر مساحت



شکل ۱۱- نمودار بار تغییر مکان نمونه‌های طراحی شده دارای یک ردیف گشودگی

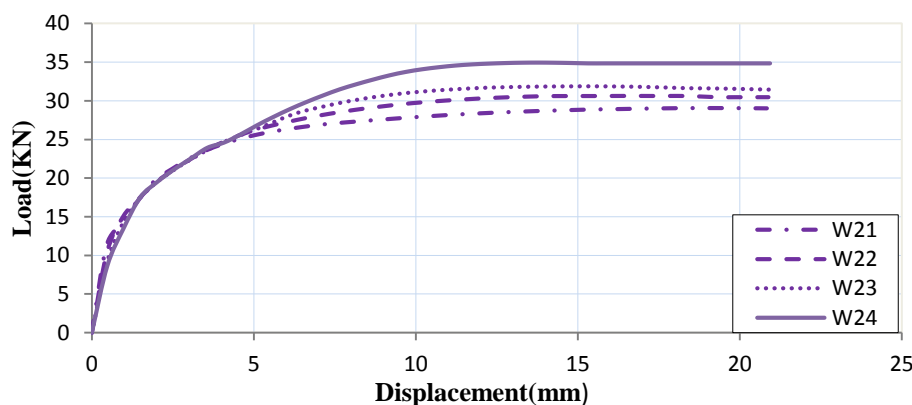


شکل ۱۲- تأثیر موقعیت گشودگی بر روی ظرفیت برشی دیوارهای بتن مسلح

متصل شده اند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد تا زمانی که عرض دیوارهای کناری کمتر از دیوار میانی باشد، هر چه گشودگی‌ها به هم نزدیک‌تر می‌گردند، ظرفیت جانبی دیوار با نرخ کمی تنها حدود ۷ درصد افزایش یافته است. اما به محض اینکه عرض دیوارهای کناری بیشتر از دیوار مرکزی می‌گردد، ظرفیت جانبی دیوار حدود ۱۹ درصد افزایش می‌یابد. جدول ۳ ظرفیت جانبی نمونه‌ها را به ازای عرض دیوارهای کناری نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در دیوارهای برشی بتن مسلح با بیش از یک ردیف گشودگی حالت بهینه طراحی هنگامی رخ می‌دهد که عرض دیواره های کناری بیشتر از قسمت‌های میانی دیوار باشد.

از نمودار شکل ۱۲ نتیجه می‌گردد که ظرفیت برشی نمونه‌ها با افزایش مساحت ناحیه فشاری به طور تقریباً خطی افزایش می‌یابد. با افزایش مساحت ناحیه تحت فشار دیوار به اندازه ۶۵ درصد، ظرفیت برشی دیوار ۲۵ درصد افزایش یافته است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت، با توجه به این که جهت بارگذاری تأثیری بر ظرفیت برشی نمونه متقارن ندارد، بهترین نحوه ایجاد گشودگی در دیوار برشی به صورت متقارن و در مرکز دیوار می‌باشد.

شکل ۱۳ نمودار بار تغییر مکان نمونه‌های دارای دو ردیف گشودگی را نشان می‌دهد، که در نرم‌افزار آباکوس به صورت غیر خطی تحلیل شده‌اند. این نمونه‌ها در واقع ترکیب سه دیوار برشی بتن مسلح می‌باشند که به وسیله تیرهای هم‌بند به یکدیگر



شکل ۱۳- نمودار بار تغییر مکان نمونه‌های طراحی شده دارای دو ردیف گشودگی

جدول ۳- ظرفیت جانبی نمونه‌های دارای دو ردیف گشودگی

نوع نمونه	W21	W22	W23	W24
ظرفیت جانبی (KN)	۲۹	۳۰٫۶۳	۳۱٫۴	۳۵



### ۵- مقایسه تأثیر مساحت و موقعیت گشودگی بر ظرفیت

#### نهایی دیوارهای برشی بتن مسلح [۹]

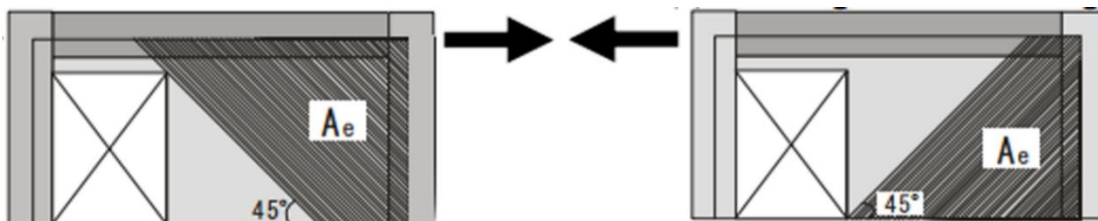
آیین‌نامه ژاپن برای محاسبه ظرفیت برشی دیوارهای بتن مسلح دارای گشودگی رابطه ۴ را ارائه می‌نماید:

$$Q_s = r_u V_u \quad (۴)$$

در این رابطه  $r_u$  ضریب کاهش مقاومت به دلیل وجود گشودگی

و  $V_u$  ظرفیت برشی دیوار بدون گشودگی می‌باشد. ضریب کاهش  $r_u$  توسط انونو طبق رابطه ۵ محاسبه می‌گردد. در رابطه ۵،  $A_e$  مساحت ناحیه مؤثر فشاری بتن و  $h, l$  به ترتیب ارتفاع و طول دیوار می‌باشند. ناحیه فشاری مؤثر دیوار در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

$$Q_s = r_u V_u \quad (۵)$$



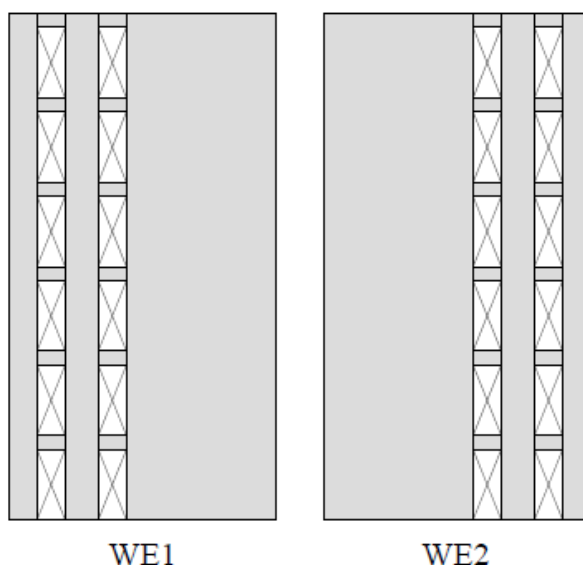
ب: جهت بارگذاری از چپ به راست

الف: جهت بارگذاری از راست به چپ

شکل ۱۴- ناحیه فشاری مؤثر با توجه به جهت بارگذاری [۹]

نمونه‌ها یک بار گشودگی‌ها در ناحیه تحت فشار دیوار و بار دیگر در ناحیه تحت کشش قرار گرفته‌اند. شکل ۱۶ نمودار بار تغییر مکان این نمونه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با توجه به اینکه مساحت گشودگی‌ها در دو نمونه تغییری نداشته است؛ اما ظرفیت جانبی نمونه‌ی WE2 ۲۵ درصد نسبت به نمونه WE1 افزایش یافته است. بنابراین مساحت مؤثر ناحیه تحت فشار یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ظرفیت نهایی دیوارهای برشی بتن مسلح می‌باشد.

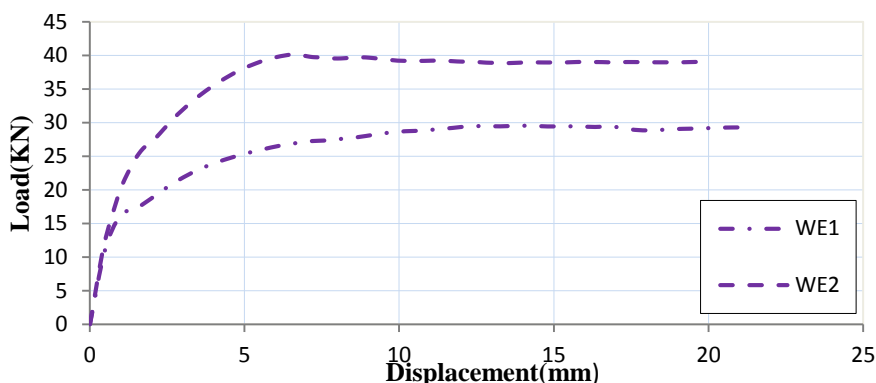
همان‌طور که مشاهده می‌گردد ضریب کاهش مقاومت  $r_u$  به ناحیه فشاری مؤثر دیوار بستگی دارد و مساحت این ناحیه به جهت بارگذاری، ابعاد و موقعیت گشودگی بستگی دارد. بنابراین مساحت و موقعیت گشودگی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ظرفیت برشی دیوارهای بتن مسلح دارای گشودگی می‌باشند که به صورت مستقیم بر ناحیه فشاری مؤثر دیوار تأثیر می‌گذارند. برای درک بهتر تأثیر ناحیه‌ی مؤثر فشاری بر ظرفیت جانبی دیوارهای برشی بتن مسلح دو نمونه مطابق شکل ۱۵ طراحی شده است. در این



WE1

WE2

شکل ۱۵- نمونه‌های طراحی شده دارای دو ردیف گشودگی به صورت غیر متقارن



شکل ۱۶- نمونه‌های طراحی شده دارای دو ردیف گشودگی

جدول ۴ ظرفیت برشی تعدادی از نمونه‌های دارای یک و دو ردیف گشودگی می باشد، اما ظرفیت برشی این نمونه ها بیشتر از نمونه- گشودگی حاصل از تحلیل غیر خطی در نرم افزار را نشان می دهد. های دارای یک ردیف گشودگی می باشد. بنابراین می توان نتیجه در تعدادی از نمونه های دارای دو ردیف گشودگی با وجود اینکه گرفت در حالات معمولی موقعیت گشودگی پارامتری مجموع مساحت بازشوها دو برابر نمونه های دارای یک ردیف تاثیر گذارتر نسبت به مساحت گشودگی می باشد.

جدول ۴ مقایسه ظرفیت جانبی نمونه‌های دارای یک و دو ردیف گشودگی

نوع نمونه	W24	W21
ظرفیت جانبی (KN)	۳۵	۳۲

۵- در نمونه‌های WE1, WE2 که در آن‌ها مجموع مساحت گشودگی‌ها با یکدیگر برابر می‌باشند، وجود گشودگی‌ها در ناحیه تحت کشش دیوار باعث می‌گردد تا ظرفیت برشی نمونه نسبت به حالتی که گشودگی‌ها در ناحیه تحت فشار دیوار قرار داشت، ۲۵ درصد افزایش یابد. بنابراین مساحت مؤثر ناحیه تحت فشار یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ظرفیت نهایی دیوارهای برشی بتن مسلح می‌باشد.

۶- مساحت و موقعیت گشودگی به طور مستقیم بر مساحت ناحیه تحت فشار دیوار اثر می‌گذارند. همچنین با مقایسه نتایج می‌توان نتیجه گرفت که در حالات معمولی موقعیت گشودگی پارامتری بحرانی تر در کاهش ظرفیت برشی دیوارهای بتن مسلح می‌باشد.

## ۷- مراجع

[۱]. مستوفی‌نژاد، داوود. سازه‌های بتن آرمه (جلد دوم)، اصفهان، انتشارات ارکان دانش، صفحه ۶۸۲، ۱۳۸۶

## ۶- نتیجه گیری

- ۱- مدل‌سازی فونداسیون دیوار در مورد نمونه‌های آزمایشگاهی آگودا در نرم‌افزار آباکوس سبب می‌شود تا جواب‌های دقیق تری در ناحیه ابتدایی نمودار حاصل گردد. همچنین گیردار فرض نمودن پای دیوار در نرم‌افزار باعث افزایش سرعت تحلیل و حاصل شدن جواب‌های دقیق در ناحیه غیرخطی نمودار می‌شود.
- ۲- با تغییر مکان موقعیت گشودگی به اندازه ۶۵ درصد ظرفیت برشی نمونه های دارای یک ردیف گشودگی ۲۵ درصد افزایش خواهد داشت.
- ۳- با توجه به عدم تأثیر مساحت ناحیه تحت فشار با تغییر جهت بار گذاری بهترین مکان برای ایجاد گشودگی به صورت متقارن و در مرکز دیوار می‌باشد.
- ۴- در نمونه‌های دارای دو ردیف گشودگی، حالت مطلوب طراحی هنگامی رخ می‌دهد که عرض دیواره میانی کمتر از دیواره های کناری باشد.

[۲]. تسنیمی، عباسعلی. رفتار و طرح لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح، نشریه شماره ۳۴۴. ک. مرکز تحقیقات مسکن و ساختمان، صفحه ۱۳۸۰، ۱۸۰.

[۳]. شایبختی، ناصر، حشمتی سعادت، علی، بررسی رفتار غیر خطی دیوار برشی بتنی دارای بازشو به روش طراحی بر اساس سطح عملکرد، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، صفحه ۷، ۱۳۸۷.

[4] Lin C.Y., Cuo C.L.. Behaviour Of Shear Wall With Opening.Ninth Confrence On Earthquake Engineering,August 2-9Tokyo, Japan (Vol.IV), 1988.

[5] Aguda G.O.. Ultimate Strength Tests For Rc Coupled Walls With Openings With Two Bands Of Openings.Thesis For Master Degree,University Of Dundee,1991.

[6] Yanez FV, Park R, Paulay T. Seismic behavior of walls with irregular openings. Earthquake Engineering Tenth World Conference. Rotterdam: Balkema 1992.

[7] Guan H., Cooper C., D.Lee. Ultimate strength analysis of normal and high strength concrete wall panels with varying opening configurations.Engineering Structures 32 1341-1355,2010.

[8] Khatami M., Moratazei A., C.Barros.Comparing Effects of Openings in Concrete Shear Walls under Near-Fault Ground Motions. 15<sup>th</sup> WCEE, LISBOA 2012.

[9] Warashina M., kono S., Sakashita M., Tanaka H.. Shear Behavior Of Multi-Story Rc Structural Walls With Eccentric Openings, The 14<sup>th</sup> World Confrence On Earthquake Engineering, October 12-17, Beijing, China, 2008.

[10] ABAQUS Theory Manual, version 6.11:Habbiit Karlsson , Sorenson Inc, 4-5-2,2012.

[11] Masood M, Ahmed I., Assas M.. Behavior of Shear Wall with Base Opening, Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 6, No. 2, 2012

[13] Belarbi, A., & Hsu, T. T. Constitutive laws of concrete in tension and reinforcing bars stiffened by concrete, ACI structural Journal, 91(4), Page 6, 1994.

[14] Shima.H., Okamura.H.,Micro And Macro Models for Bond in Reinforced Concrete,The University of Tokyo (B);39(2):133-94,Page 185,1987.

## Comparative Study on Effects of Area And Position Of Opening On Behaviour And Shear Capacity Of Concrete Shear Walls

A. Arazbzade

Associate Professor, Tarbiat Modares University

M. Mozaffar Jazi \*

Master Student, Tarbiat Modares University

### Abstract

In many cases concrete shear walls have openings for architectural reasons. Opening cause some changes in shear capacity, stiffness and behaviour of reinforced concrete walls. In this study, finite element models are developed by Abaqus software to compare the effect of area and position of opening on shear capacity of concrete shear wall with regular openings. The experimental results on concrete shear walls with two bands of openings by Aguda are used to verify the analytical models. After verification; some specimens with one and two bands of opening are designed similar to qualification of Agudas experiments. Nonlinear finite element analysis of reinforced concrete walls is performed using damage plasticity model. Results further confirm that compressive area of wall play an important role on shear capacity of structural concrete walls and parameters of area and position of opening can effect on compressive area. Comparison of results are also showed that the position of opening is more effective on shear capacity of concrete shear walls.

**Keywords:** Concrete shear walls, Opening area, Opening position, Ultimate Shear Strength Compressive area.

---

\* Corresponding Author: mehran.mozaffar@gmail.com