

## پارامترهای مؤثر بر رفتار و ظرفیت باربری دیوار برشی بتن مسلح دارای گشودگی‌های منظم

ابوالفضل عرب زاده\*، مهران مظفرجری

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۲۱ شهریور ۱۳۹۵  
بازنگری: ۱۶ آذر ۱۳۹۵  
پذیرش: ۲۶ دی ۱۳۹۵  
ارائه آنلاین: ۶ بهمن ۱۳۹۵

### کلمات کلیدی:

دیوار برشی بتن مسلح  
گشودگی  
خسارت خمیری  
پارامترهای مؤثر  
ظرفیت باربری

**چکیده:** برشی بتن مسلح ایجاد گردیده که باعث تغییراتی در رفتار، سختی، ظرفیت باربری و مکانیزم شکست این نمونه‌ها می‌شوند. در این مقاله، پارامترهای مؤثر بر رفتار و ظرفیت باربری دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی مورد بررسی قرار گرفته است. برای مدلسازی عددی و بررسی پارامترهای بیان شده، از نرم‌افزار ABAQUS6-13 استفاده شده و برای صحت سنجی و تحلیل حساسیت نتایج حاصل از این نرم‌افزار، یک نمونه آزمایشگاهی معتبر در این نرم‌افزار مدل‌سازی شده و خروجی حاصل با نتایج موجود مقایسه گردیده است. پس از صحت‌سنجی نرم‌افزار، پارامترهای موقعیت، مساحت گشودگی، تعداد ردیف گشودگی، ابعاد تیر همبند و میلگردگذاری قطری با استفاده از مدل خسارت خمیری بتن و روش حل صریح تحت اثر بارگذاری مونوتیک در نرم‌افزار بررسی شده و مقایسه‌ای میان آن‌ها انجام گرفته است. نتایج حاکی از آن است که موقعیت گشودگی، پارامتری مؤثرتر در کاهش ضریب همبستگی و ظرفیت باربری نمونه نسبت به مساحت آن می‌باشد. در نمونه‌های با بیش از یک ردیف گاهی به دلیل مسائل معماری و محدودیت‌های موجود در پلان سازه، گشودگی‌هایی مانند در، پنجره و داکت‌های تأسیساتی در دیوار گشودگی، ایجاد نسبت دهانه کناری دیوار به دهانه میانی بزرگتر از ۰/۵ سبب شده تا با پیشینه شدن ناحیه تحت فشار و افزایش حداکثری ضریب همبستگی، دیوار به حداکثر ظرفیت باربری خود برسد. همچنین، با بررسی اثر جمعی پارامترهای بررسی شده در محدوده مدل‌سازی عددی نمونه‌ای با نسبت ارتفاع تیر همبند به ارتفاع طبقه ۰/۵۲، استفاده از میلگرد قطری در تیر همبند و همچنین در ناحیه پای دیوار به عنوان پیشنهادی برای طراحی مناسب در مورد دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی ارائه گردیده است.

### ۱- مقدمه

سیستم سازه‌ای دیوار برشی برای مقاومت در برابر اثر توأم تنش‌های محوری، برشی و خمشی ناشی از بارهای جانبی و ثقلی به خصوص نیروی زلزله طراحی می‌شود. دیوارهای برشی معمولاً بیشترین سهم نیروی برش پایه را تحمل نموده و باعث افزایش چشمگیر سختی ساختمان و کاهش قابل ملاحظه خسارت به عناصر غیر سازه‌ای می‌گردد. گاه به دلیل مسائل معماری، محدودیت‌های موجود در پلان سازه و وجود داکت‌های تأسیساتی گشودگی‌هایی در داخل دیوار برشی بتن مسلح ایجاد گردیده که باعث تغییراتی در رفتار، سختی، ظرفیت باربری و مکانیزم شکست این نوع از دیوارها می‌شود.

موضوع قابل توجه در دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی تمایل دیوار به عملکرد جداگانه در اطراف گشودگی‌ها می‌باشد. در واقع این نوع از دیوارها از دو دیوار برشی بتن مسلح و یک تیر رابط تشکیل می‌گردد. این تیر رابط، تیر همبند نام داشته و نقشی اساسی در شکل‌پذیری، ضریب همبستگی و ظرفیت باربری این نوع از دیوارها ایفا نموده و این تیرها معمولاً ضعیف‌تر از دیوارها طراحی شده و بر اثر حرکت جانبی دیوار چرخش قابل ملاحظه‌ای در محل اتصال تیر همبند به دیوار رخ می‌دهد. بنابراین، در طراحی بهینه‌ی

دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی پس از اعمال نیروهای برشی مفاصل پلاستیک در دو انتهای تیر همبند تشکیل شده و بخش قابل توجهی از انرژی زلزله را مستهلک می‌نماید. در این حالت، تیر همبند در هنگام زلزله مانند فیوز عمل نموده و قبل از آسیب دیدن نواحی اصلی دیوار، با اعمال تغییر شکل‌های زیاد دچار خرابی شده و به حد جاری شدن می‌رسد. برای دستیابی به عملکرد شکل‌پذیر تیر همبند، بایستی این تیرها با توجه به شرایط موجود دارای آرایش مناسب میلگرد گذاری باشند [۱ و ۲].

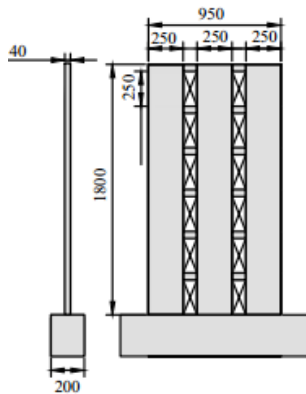
تاکنون تحقیقاتی بر روی رفتار و ظرفیت باربری دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی انجام شده است. لین<sup>۱</sup> و سو<sup>۳</sup> در سال ۱۹۸۸ و سویدی<sup>۴</sup> در سال ۱۹۹۱ برای اولین بار ظرفیت باربری دیوارهای برشی بتنی دارای گشودگی را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که وجود گشودگی باعث تغییر در رفتار و مقاومت دیوار برشی خواهد شد. آگودا<sup>۵</sup> در سال ۱۹۹۱ نحوه گسترش ترک‌ها و مقاومت نهایی دیوارهای برشی دارای دو ردیف گشودگی را به صورت آزمایشگاهی مطالعه نمودند و دریافته‌اند که می‌توان روش‌های موجود برای محاسبه ظرفیت

1 Lin  
2 Cuo  
3 Subedi  
4 Aguda

\*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: arabzade@modares.ac.ir

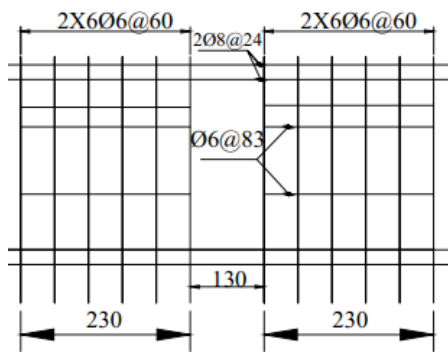
## ۲- مطالعات آزمایشگاهی آگودا [۵]

در سال ۱۹۹۱ دو نمونه مقیاس شده دیوار برشی بتنی با دو ردیف گشودگی توسط آگودا [۵] در دانشگاه داندی مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. در این مقاله برای بررسی روند مدل سازی عددی دیوارهای مورد مطالعه و اطمینان از صحت و تحلیل آن‌ها، از نتایج آزمایشگاهی مذکور استفاده گردیده است. میلگردگذاری و هندسه نمونه آزمایشگاهی ایجاد شده در شکل‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. تمامی ابعاد بر حسب میلی‌متر می‌باشند.



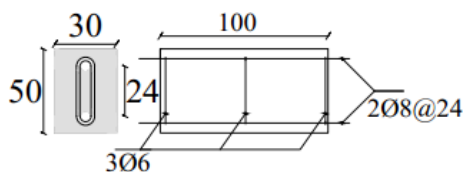
شکل ۱: هندسه و شمای کلی نمونه آزمایشگاهی [۵]

Fig. 1. General geometry of the experimental specimen



شکل ۲: میلگردگذاری دیوار در نمونه آزمایشگاهی [۵]

Fig. 2. Reinforcement detail of the experimental wall



شکل ۳: میلگردگذاری تیر همبند در نمونه آزمایشگاهی [۵]

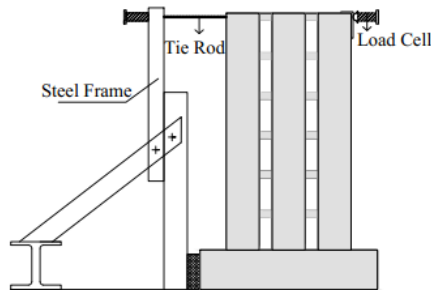
Fig. 3. Reinforcement detail of the experimental coupling beam

باربری دیوارهای دارای یک ردیف گشودگی را به نمونه‌های دارای دو ردیف گشودگی نیز گسترش داد. یnez<sup>۱</sup> و همکاران [۶] در سال ۱۹۹۲ به تحقیق درباره شکلپذیری دیوارهای برشی دارای گشودگی‌های منظم و متناوب پرداختند. آن‌ها همچنین یک مدل بست و بند برای طراحی این نوع دیوارها ارائه نمودند. بالکایا<sup>۲</sup> و کلکن<sup>۳</sup> [۷] در سال ۲۰۰۴ مقایسه‌ای میان تحلیل دینامیکی غیر خطی دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی در سیستم سازه‌ای تونلی به صورت دو بعدی و سه بعدی انجام دادند. نتایج حاکی از آن بود که تحلیل سه بعدی منجر به مدل سازی بهتری در مورد شکلپذیری و نحوه توزیع تنش در اطراف گشودگی‌ها خواهد شد. واراشینا<sup>۴</sup> و همکاران [۸] در سال ۲۰۰۸ به صورت آزمایشگاهی و عددی تأثیر خروج از مرکزیت گشودگی‌ها و پارامترهای مؤثر بر ضریب کاهش مقاومت نهایی در دیوارهای برشی هم‌بسته را بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که اندازه و موقعیت گشودگی بر رفتار و ظرفیت برشی نمونه‌های دارای گشودگی تأثیرگذار خواهد بود. طالب و همکاران [۹] و همچنین چودهوری<sup>۵</sup> و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۱۲ با استفاده از نتایج آزمایشگاهی واراشینا و همکاران به توسعه مدل‌های بست و بند، بررسی پارامترهای مؤثر بر ظرفیت نهایی و مدل‌های رفتاری بتن مسلح در دیوارهای برشی هم‌بسته پرداختند. موسوارکا<sup>۶</sup> [۱۱] با بررسی نمونه‌های دارای گشودگی‌های متناوب و منظم به صورت آزمایشگاهی به این نتیجه رسید که وجود گشودگی‌های منظم در دیوار رفتاری شکل‌پذیرتر و مطمئن‌تر را در هنگام وقوع زلزله خواهد داشت. او همچنین روش‌ها و نکاتی را برای طراحی دیوارهای دارای گشودگی‌های متناوب ارائه نمود.

با وجود تحقیقات انجام شده در مورد دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی، تاکنون رفتار دیوارهای با بیش از یک ردیف گشودگی و مقایسه‌ای جامع در مورد پارامترهای مؤثر بر رفتار و ظرفیت باربری این نمونه‌ها انجام نشده است. در این پژوهش با بررسی جامع پارامترهای موقعیت و مساحت گشودگی، تعداد ردیف گشودگی، ابعاد تیر همبند و میلگردگذاری قطری نمونه که همگی جزء پارامترهای تأثیرگذار بر رفتار و ظرفیت باربری این نوع از دیوارها می‌باشند، به ارائه تمهیدات لازم و نکات جدید در مورد طراحی مناسب دیوارهای دارای یک و دو ردیف پرداخته می‌شود. برای انجام این کار، ابتدا یک مدل عددی در نرم افزار آباکوس با استفاده از مدل خسارت خمیری بتن تحت اثر بارگذاری مونوتونیک به روش اجزا محدود غیرخطی ایجاد شده و پس از صحت‌سنجی مدل با نتایج آزمایشگاهی آگودا [۵]، اثر پارامترهای مذکور مورد بررسی قرار گرفته است.

- 1 Yanez
- 2 Balkaya
- 3 Kalkan
- 4 Warashina
- 5 Chowdhury
- 6 Mosoarca

بتن و میلگرد اعمال می‌شود. در پایان، خروجی‌های نرم‌افزار شامل منحنی بار تغییر مکان و الگوی ترک نمونه‌ها با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است. همچنین از فرضیات منطقی برای متغیرهای مدل خسارت خمیری استفاده شده و برای دستیابی به پارامترهای مناسب، تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای تأثیرگذار بر پاسخ سازه مطالعه شده است.



شکل ۴: بارگذاری نمونه آزمایشگاهی [۵]

Fig. 4. Load testing of the experimental wall

۳-۱- پارامترهای مورد استفاده در مدل خسارت خمیری بتن مدل خسارت خمیری از پیچیده‌ترین و پرکاربردترین مدل‌های رفتاری بتن می‌باشد. این مدل به دلیل عدم مدل‌سازی صریح ترک و نیروهای انتقالی در سطح ترک، نیاز به مدل‌های رفتاری کمتری نسبت به مدل‌های دیگر داشته و به طور کلی برای اغلب مسائل مهندسی و کاربردی روشی قابل قبول محسوب می‌شود. به طور کلی مدل‌های خسارت خمیری علاوه بر سه ویژگی مدل مبتنی بر تئوری خمیری که به ترتیب معیار تسلیم برای شروع تغییر شکل‌های خمیری، قانون سخت‌شدگی یا نرم‌شدگی برای تعیین وضعیت تکامل سطح تسلیم و قانون جریان برای تعیین نمو کرنش‌های خمیری هستند، دارای پارامتر خسارت برای محاسبه آسیب‌دیدگی المان می‌باشند. سه ویژگی اول در نرم‌افزار به صورت زاویه اتساع، خروج از مرکزیت، نسبت مقاومت فشاری دو محوری بتن به مقاومت فشاری تک‌محوری، نسبت دومین نامتغیر تانسور تنش در نصف‌النهار کششی به مقدار آن در نصف‌النهار فشاری و ویسکوزیته تعریف می‌گردد. زاویه اتساع بتن مهمترین پارامتر تأثیرگذار بر نتایج نمونه‌ها می‌باشد. زاویه اتساع برابر با نسبت نمو کرنش خمیری حجمی به نمو کرنش خمیری انحرافی می‌باشد و برای بتن معمولاً بین ۲۰ تا ۴۰ درجه فرض می‌شود که این مقدار بر روی شکل‌پذیری مصالح و نتایج شکل‌پذیری کل مدل تأثیر مهمی داشته و باعث افزایش شکل‌پذیری نمونه می‌شود [۱۲].

### ۳-۱-۱- رفتار بتن در فشار و کشش تک محوری

رفتار بتن در اثر تنش‌های فشاری و کششی تک‌محوری در ابتدا به صورت خطی در نظر گرفته شده و تا زمانی که به ترتیب مقاومت بتن به مقاومت نظیر ترک خوردگی و مقاومت فشاری بتن برسد، این رفتار خطی

### ۲-۱- مشخصات مصالح مصرفی

در این نمونه‌ها از بتن ریزدانه استفاده شده 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 شود. برای میلگردگذاری نمونه‌ها از میلگرد آجدار با قطر ۸ mm برای میلگردهای خمشی تیر همبند و از میلگرد با قطر ۶mm برای میلگردگذاری سایر قسمت‌های دیوار برشی استفاده شده است. سایر مشخصات مصالح مصرفی در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

### جدول ۱: مشخصات بتن مصرفی [۵]

Table 1. Mechanical properties of the concrete

مدول ارتجاعی (kN/mm <sup>2</sup> )	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Mpa)	نوع بتن
۲۳/۵	۲۵	ریزدانه

### جدول ۲: مشخصات میلگرد مصرفی [۵]

Table 2. Reinforcement properties

مدول ارتجاعی (kN/mm <sup>2</sup> )	مقاومت تسلیم متوسط (MPa)	قطر میلگردها
۱۹۵	۳۱۲	۶mm
۲۰۰	۵۵۸	۸mm

### ۲-۲- بارگذاری نمونه‌ها

پس از ساخت نمونه‌ها، تغییر مکان جانبی دیوارهای ساخته شده توسط چهار کرنش‌سنج که در ارتفاع دیوار قرار گرفته شده است، کنترل می‌گردد. بار بوسیله یک جک هیدرولیکی که در گوشه‌ی بالای دیوار در سمت راست آن قرار گرفته است، به یک صفحه فولادی با صلیبیت بالا برای جلوگیری از تمرکز تنش در این ناحیه اعمال شده است. پایداری دیوار به وسیله یک قاب فولادی متصل به میلگرد پیش‌تنیده تأمین شده است. جزییات بارگذاری تست آزمایشگاهی در شکل ۴ نشان داده شده است.

### ۳- صحت‌سنجی مدل عددی

هدف از مدل‌سازی عددی، بررسی رفتار یک سازه یا یک المان با هزینه و محدودیت‌های بسیار کمتر نسبت به مدل‌سازی آزمایشگاهی می‌باشد. برای دستیابی به نتایج قابل قبول از تحلیل عددی بایستی ابتدا نمونه‌های آزمایشگاهی معتبر در نرم‌افزار مدل‌سازی شده و با استفاده از روشی مناسب تحلیل اجزا محدود غیرخطی بر روی آن‌ها انجام گیرد. برای در نظر گرفتن اندرکنش میان بتن و میلگرد در این پژوهش، میلگرد به صورت مدفون در بتن در نظر گرفته شده و اثر لغزش میلگرد در بتن با اصلاح مدل رفتاری

$$\sigma_{cc} = \omega k_0 E_{co} (\varepsilon - \varepsilon_p) \quad (1)$$

که در آن:

$\omega$ : درحالت فشار تک محوری برابر با یک

$k_0$ : متغیر مدل مرتبط با کرنش بتن

$E_{co}$ : متغیر مدل که با فرض نسبت پواسون ۰/۲ به طور تقریبی برابر ۲ در نظر گرفته می شود.

$\varepsilon$ : کرنش بتن

$\varepsilon_p$ : کرنش متناظر با مقاومت نهایی بتن

$$\sigma_t = f_t \left( \frac{\varepsilon_{tu}}{\varepsilon_t} \right)^c \quad (2)$$

که در آن:

$f_t$ : مقاومت کششی بتن (مگاپاسکال)

$\varepsilon_{tu}$ : کرنش بتن

$\varepsilon_t$ : کرنش متناظر با ظرفیت کششی بتن

$c$ : متغیر رابطه که برای آرماتور آجدار برابر ۰/۴ و برای شبکه فولادی جوش شده برابر ۰/۲ در نظر گرفته می شود.

همچنین سایر پارامترهای مورد نیاز در مدل خسارت خمیری موجود در نرم افزار آباکوس بر اساس تحلیل حساسیت و رفتارسنجی انجام شده در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: پارامترهای مورد استفاده در مدل خسارت خمیری موجود در نرم افزار آباکوس [۱۸ و ۱۹]

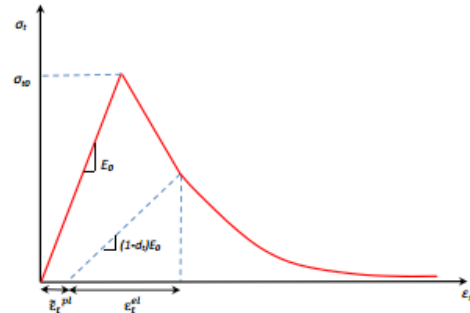
Table 3. Concrete damage plasticity parameters using in ABAQUS software

مقادیر یا نام	پارامتر
۰/۱	پارامتر خروج از مرکزیت
۳۳ <sup>۳</sup>	پارامتر زاویه اتساع
۰/۶۶۷	پارامتر سطح تسلیم
۱/۱۶	نسب مقاومت فشاری دومحوره به مقاومت فشاری تک محوره
۴۰ mm	اندازه المان

۳-۳- صحت سنجی مدل عددی توسط نتایج آزمایشگاهی

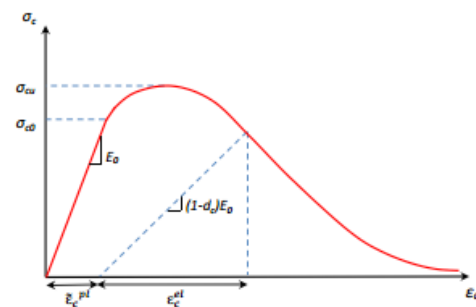
در این قسمت یکی از نمونه های آزمایشگاهی آگودا توسط نرم افزار آباکوس مدل سازی شده است. برای مدلسازی المان بتنی از المان های سه بعدی محیط پیوسته و برای مدل سازی المان های میلگرد از المان تیر دو گرهی مرتبه اول استفاده شده است. شرایط مرزی توسط نرم افزار آباکوس با

ادامه می یابد. مقاومت ترک خوردگی بتن با ایجاد ترک های پیش رونده و رفتار غیر خطی بتن در فشار با گسترش ریز ترک ها در بتن آغاز شده 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 مطابق شکل های ۵ و ۶ در نظر گرفته می شود [۱۳]. پارامتر خسارت یا آسیب دیدگی نمونه بتنی در این روش به صورت کاهش در سختی سکانتی بتن تعریف می گردد [۱۴].



شکل ۵: رفتار بتن در کشش تک محوری [۱۴]

Fig. 5. Uniaxial tension behavior of concrete



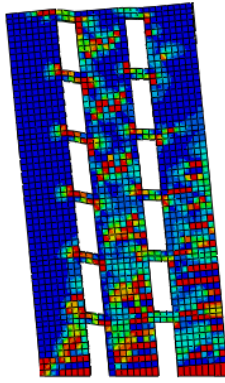
شکل ۶: رفتار بتن در فشار تک محوری [۱۴]

Fig. 6. Uniaxial compression behavior of concrete

۳-۲- حساسیت سنجی

در مدل سازی نمونه های آزمایشگاهی آگودا، برای تعریف مدل فشاری بتن از مدل رفتاری مایکاو<sup>۱</sup> [۱۵] مطابق با رابطه ۱، برای تعریف مدل رفتاری میلگرد از مدل رفتاری سو<sup>۲</sup> و بلاربی<sup>۳</sup> [۱۶] و برای در نظر گرفتن تأثیر تنش های چسبندگی بین بتن و میلگرد، رفتار کششی بتن توسط مدل سخت شدگی کششی شیما<sup>۴</sup> و همکاران [۱۷] مطابق با رابطه ۲ اصلاح شده است.

- 1 Maekawa
- 2 Hsu
- 3 Belarbi
- 4 Shima



الف: مکانیزم خرابی در نرم افزار آباکوس



ب: مکانیزم خرابی نمونه آزمایشگاهی [۵]

شکل ۸: مقایسه مکانیزم خرابی دیوار مورد مطالعه در آزمایشگاه و نتایج تحلیل نرم افزار

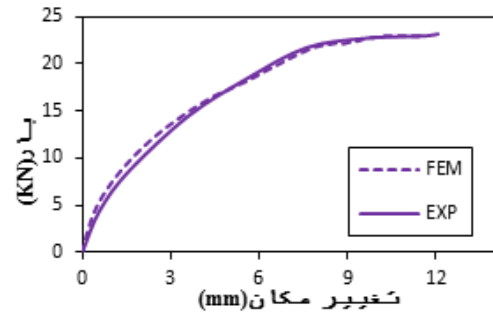
Fig. 8. Comparison of the failure mechanism of the finite element model and experimental test of the shear wall. (a) FEM failure mechanism. (b) experimental failure mechanism

جدول ۴: مشخصات المان های مورد استفاده در مدل عددی

Table 4. Properties of elements using in ABAQUS software

نوع بتن	بتن	میلگرد
مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Mpa)	۲۵	
مقاومت تسلیم متوسط (MPa)		۴۰۰
مدول ارتجاعی (kN/mm <sup>2</sup> )	۲۳۵۰۰	۲۰۰۰۰۰
نوع المان	دوگرهه خرابایی (B31)	سه بعدی محیط پیوسته (C3D8R)

در نظر گرفتن فونداسیون موجود در نمونه آزمایشگاهی (FEM) ایجاد شده است. نمودار بار تغییر مکان حاصل از تحلیل غیرخطی نمونه ها در نرم افزار و همچنین نتایج آزمایشگاهی در شکل ۷ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می گردد، مدل ایجاد شده توسط نرم افزار با دقت قابل قبولی بر نتیجه آزمایشگاهی منطبق شده و این امر نشان دهنده مدل سازی صحیح و در نظر گرفتن پارامترهای مناسب در مدل خسارت خمیری بتن می باشد.



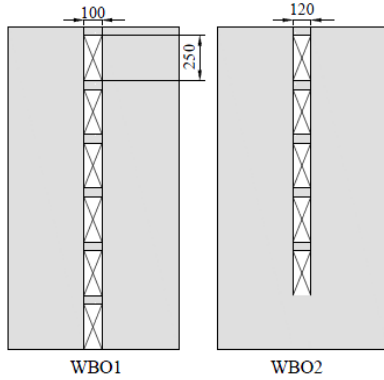
شکل ۷: نمودار بار - تغییر مکان دیوار بر اساس نتایج آزمایشگاهی و مدل اجزا محدود

Fig. 7. Load Displacement diagrams of experimental wall and FEM analysis

در شکل ۸ مود خرابی دیوار مورد مطالعه در شرایط آزمایشگاهی و مدل ایجاد شده در نرم افزار نشان داده شده است. مطابق با شکل ۸، در هر دو حالت تخریب دیوار به صورت شکست خمشی بوده و تیرهای همبند 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 دارای گشودگی مورد مطالعه اطمینان حاصل نمود.

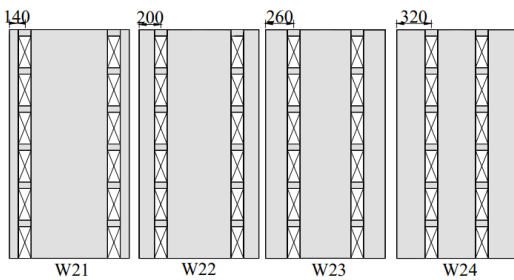
#### ۴- مطالعات پارامتری

تحلیل پارامتری در یک وضعیت خاص به منظور درک رفتار پدیده مورد مطالعه و دستیابی به روابطی ساده برای طراحی انجام می پذیرد. در این قسمت پارامترهای مؤثر بر رفتار و ظرفیت باربری دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی شامل موقعیت و تعداد ردیف گشودگی، مساحت گشودگی، ابعاد تیر همبند و استفاده از میلگردگذاری قطری در نواحی مختلف دیوار توسط مدل سازی عددی در نرم افزار آباکوس بررسی شده و نهایتاً با مقایسه پارامترهای بیان شده تأثیر جمعی آنها بر ظرفیت باربری نمونه ها بررسی شده است. مشخصات المان های عددی مورد استفاده در مدل سازی عددی در جدول ۴ آورده شده است. همچنین در این مقاله از روش تفاضل مرکزی با رویکرد صریح برای تحلیل غیر خطی مدل عددی استفاده شده است.



شکل ۱۱: نمونه‌های دارای دو ردیف گشودگی

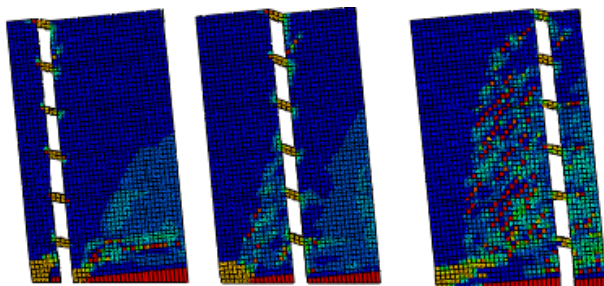
Fig. 11. Specimens with one band of openings



شکل ۱۲: میلگردگذاری شمانیک نمونه‌های طراحی شده

Fig. 12. Reinforcement detail of the modeled walls

با توجه به مکانیزم‌های شکست نمونه‌ها در شکل ۱۳، با افزایش فاصله گشودگی‌ها از لبه سمت چپ دیوار و افزایش ناحیه تحت فشار دیوار ضریب همبستگی نمونه‌ها افزایش یافته و قسمت بیشتری از دیوار در تحمل نیروی جانبی مشارکت خواهد داشت.



شکل ۱۳: تأثیر موقعیت گشودگی بر روی ظرفیت باربری دیوارهای برشی بتن مسلح

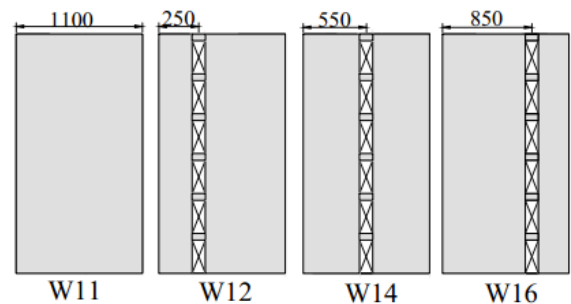
Fig. 13. The effect of opening position on behavior of the concrete shear walls

نماد R در نامگذاری المان سه بعدی محیط پیوسته نشان دهنده استفاده از انتگرالگیری کاهش یافته بوده که باعث افزایش دقت در مدل‌سازی ناحیه ترک خورده می‌شود.

۴-۱- تأثیر موقعیت و مساحت گشودگی در دیوارهای برشی دارای یک و دو ردیف گشودگی

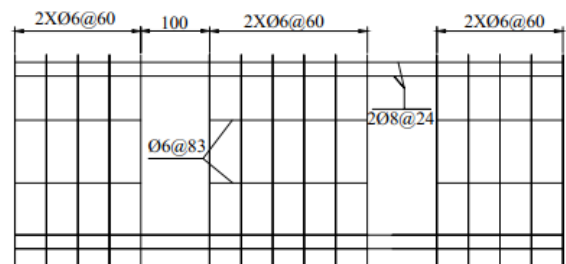
در این قسمت نمونه‌هایی دارای یک و دو ردیف گشودگی هم مقیاس با نمونه‌های آزمایشگاهی طراحی شده است. شکل‌های ۹ تا ۱۲ هندسه کلی و میلگردگذاری نمونه‌های طراحی شده را نشان می‌دهد. در شکل ۹ نمونه‌ای بدون گشودگی و در سایر نمونه‌ها موقعیت گشودگی نسبت به لبه سمت چپ دیوار متغیر می‌باشد. با توجه به جهت بارگذاری مونوتونیک از سمت راست به چپ، فاصله مرکز گشودگی از لبه سمت چپ دیوار نماینده ناحیه تحت فشار در نمونه می‌باشد.

در شکل ۱۰ نمونه‌ای دارای گشودگی در پای دیوار و نمونه دیگر فاقد گشودگی در پای دیوار می‌باشد. ابعاد گشودگی‌ها در هر دو حالت به نحوی تعبیه شده‌اند که مجموع مساحت آن‌ها در هر دو نمونه با یکدیگر برابر باشد. همچنین در شکل ۱۱ نمونه‌هایی دارای دو ردیف گشودگی طراحی شده که در آن‌ها موقعیت دو ردیف گشودگی به صورت متقارن نسبت به یکدیگر تغییر می‌کنند. تمامی ابعاد بر حسب میلی‌متر می‌باشند.



شکل ۹: نمونه‌های دارای یک ردیف گشودگی

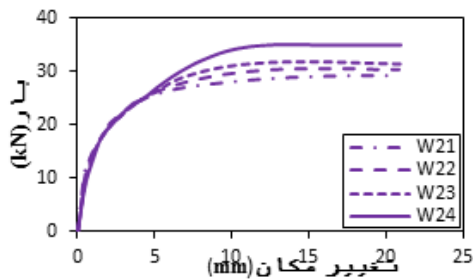
Fig. 9. Specimens with one band of opening



شکل ۱۰: نمونه‌های طراحی شده برای بررسی اثر گشودگی در پای دیوار

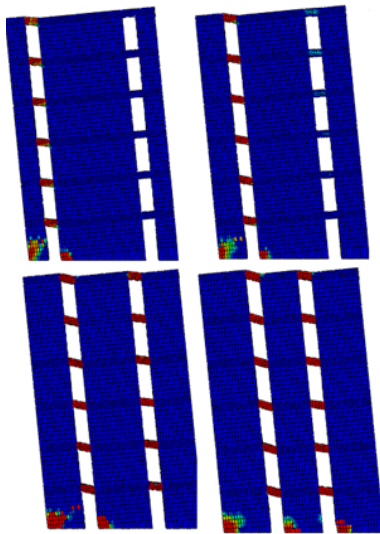
Fig. 10. Modeled walls to investigate the effect of base opening in shear wall

بیشتری از دیواره میانی در این نمونه‌ها تحت فشار قرار گرفته اما ظرفیت باربری نمونه W23 تنها ۸٪ در مقایسه با نمونه اولیه افزایش یافته است. زمانی که نسبت دیواره کناری به دیواره میانی در دیوار W24 بیشتر از ۵۰٪ شود، همبستگی دیواره‌ها به طور چشمگیری افزایش یافته و پای هر سه دیواره و هر دو ردیف تیر همبند تحت فشار قرار گرفته و مفصل خمیری در آن‌ها رخ داده و همین امر سبب شده تا ظرفیت باربری نمونه به حداکثر مقدار خود رسیده و نسبت به نمونه اولیه بیش از ۱۷٪ ظرفیت باربری افزایش یابد.



شکل ۱۵: نمودار بار تغییر مکان نمونه‌های W21 تا W24

Fig. 15. Load-displacement of modeled walls W21 to W24

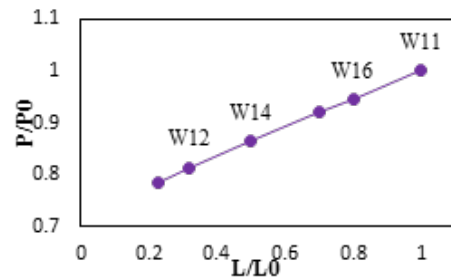


شکل ۱۶: مود شکست فشاری نمونه‌های W21 تا W24

Fig. 16. Failure mechanism of modeled walls W21 to W24

همچنین با مقایسه نمونه‌های دارای یک و دو ردیف گشودگی می‌توان دریافت که ظرفیت جانبی نمونه W24 دارای دو ردیف گشودگی ۸ درصد بیشتر از ظرفیت جانبی نمونه W21 دارای یک ردیف گشودگی بوده و این امر نشان می‌دهد که موقعیت گشودگی پارامتری مؤثرتر در کاهش ضریب همبستگی نمونه و در نتیجه ظرفیت باربری آن نسبت به مساحت گشودگی می‌باشد.

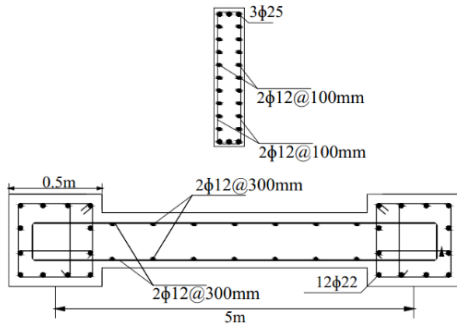
شکل ۱۴ تأثیر مساحت ناحیه تحت فشار دیوار را بر روی ظرفیت باربری دیوارهای دارای یک گشودگی نشان می‌دهد. محور افقی نسبت فاصله مرکز گشودگی تا لبه سمت چپ دیوار به طول کل دیوار و محور قائم نسبت ظرفیت باربری دیوار در هر نمونه را نشان می‌دهد. بارگذاری نمونه به صورت اعمال تغییر مکان در قسمت بالای دیوار به یک صفحه صلب مشابه با بارگذاری نمونه آزمایشگاهی بوده که در بخش ۲-۲ توضیح داده شده است.  $P_0$  به ظرفیت باربری دیوار در حالت بدون گشودگی ( $P_0$ ) با توجه به جهت بارگذاری از سمت راست به چپ، محور افقی نمودار شکل ۱۴ نمایانگر مساحتی از دیوار بوده که تحت فشار قرار گرفته است. افزایش ضریب همبستگی دیوار و مساحت مؤثر در تحمل نیرو با توجه به نمودار شکل ۱۳ ظرفیت باربری نمونه را نیز افزایش داده است. در این شکل مقدار  $L$  فاصله مرکز گشودگی تا لبه سمت چپ دیوار،  $L_0$  عرض کل دیوار برابر  $1/1$  m،  $P$  ظرفیت باربری دیوار و  $P_0$  ظرفیت نمونه بدون گشودگی بوده که برابر ۳۷ kN می‌باشد. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌گردد، با افزایش ناحیه تحت فشار از ۲۵٪ به ۷۵٪ طول کل دیوار، ظرفیت باربری نمونه ۲۵٪ افزایش یافته است.



شکل ۱۴: تأثیر موقعیت گشودگی بر روی ظرفیت باربری دیوارهای برشی بتن مسلح

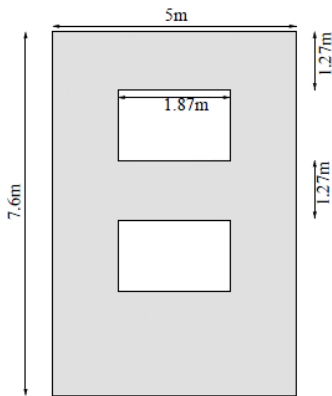
Fig. 14. The effect of opening position on load capacity of the concrete shear walls

مکانیزم شکست نمونه‌های دارای دو ردیف گشودگی و نمودار بار تغییر مکان این نمونه‌ها به ترتیب در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ آورده شده که در نرم‌افزار آباکوس به صورت غیر خطی تحلیل شده‌اند. این نمونه‌ها در واقع ترکیب سه دیوار برشی بتن مسلح بوده که به وسیله تیرهای همبند به یکدیگر متصل شده‌اند. مکانیزم شکست نمونه W21 که در آن نسبت طول دهانه کناری دیوار به طول دهانه میانی برابر ۱۲/۵٪ بوده، نشان دهنده آن است که نمونه W21 بسیار پایینی برخوردار بوده و دیواره کناری سمت چپ و قسمت زیادی از دیواره از یکپارچگی میانی در تحمل بار نقشی نداشته و همین امر سبب گردیده تا این نمونه کمترین ظرفیت باربری را داشته باشد. در نمونه‌های W22 و W23 نسبت طول دیواره کناری به طول دیواره میانی به گونه‌ای افزایش یافته که همچنان کمتر از ۵۰٪ باشد. در این نمونه‌ها مطابق با شکل، ضریب همبستگی نمونه‌ها افزایش اندکی داشته و بخش



شکل ۱۹: جزییات میلگردگذاری نمونه طراحی شده

Fig. 19. Reinforcement detail of the modeled walls



شکل ۲۰: نمونه طراحی شده برای بررسی ابعاد تیر همبند

Fig. 20. Modeled wall to investigate the effect of coupling beam dimensions

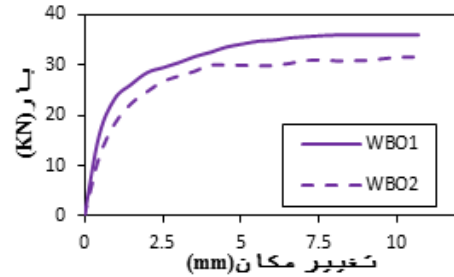
پس از طراحی دیوار برشی همبسته در نرم افزار ETABS، برای بررسی تأثیر طول و ارتفاع تیر همبند نمونه‌هایی مطابق جداول ۵ و ۶ در نرم افزار آباکوس مدل سازی گردیده و آنالیز غیر خطی اجزا محدود بر روی این نمونه‌ها انجام شده است.

جدول ۵: نمونه‌های طراحی شده برای بررسی اثر دهانه تیر همبند

Table 5. Modeled wall to investigate the effect of coupling beam width

نام نمونه	طول تیر همبند (cm)	نسبت دهانه تیر همبند به طول دیوار
WL1	۱۸۷	۰/۳۷
WL2	۴۰۰	۰/۸
WL3	۵۰۰	۱

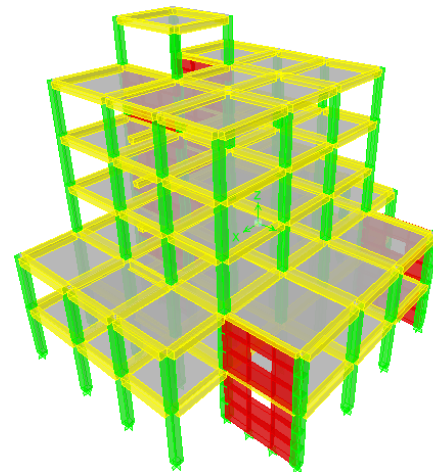
نمودار بار تغییر مکان نمونه‌های WBO و WBO1 در شکل ۱۷ آورده شده است. این نمودارها نشان می‌دهند که اگر گشودگی در پای دیوار وجود داشته باشد، مساحت بیشتری از ناحیه تحت فشار دیوار از بین رفته و ظرفیت جانبی نمونه‌ی WBO1، ۱۵ درصد بیشتر از نمونه‌ی WBO2 در مقایسه با نمونه بدون گشودگی کاهش می‌یابد.



شکل ۱۷: نمودار بار تغییر مکان نمونه‌های دارای گشودگی و فاقد گشودگی در پای دیوار

Fig. 17. Load-displacement of the specimen with base opening and the specimen without base opening

۴-۲- تأثیر ابعاد تیر همبند بر رفتار و ظرفیت باربری برای بررسی ابعاد تیر همبند ابتدا یک ساختمان ۵ طبقه بتنی با کاربری تجاری- اداری دارای دیوار برشی بتن مسلح همبسته، در نرم افزار ETABS طراحی شده است. نمای کلی ساختمان، میلگردگذاری و هندسه کلی نمونه ایجاد شده در نرم افزار آباکوس در شکل‌های ۱۸ تا ۲۰ آورده شده است.



شکل ۱۸: نمای سازه طراحی شده در نرم افزار ETABS

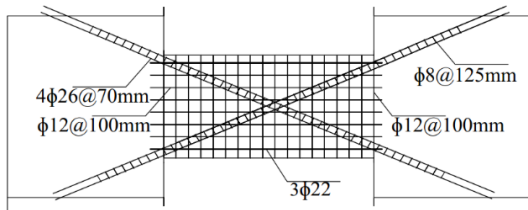
Fig. 18. Designed structure in ETABS software



در نمودارهای شکل ۲۲ با افزایش نسبت ارتفاع تیر همبند به ارتفاع طبقه از مقدار ۳۸٪ به ۵۲٪، ظرفیت جانبی نمونه‌ها ۱۵٪ افزایش و تغییر مکان جانبی نمونه‌ها ۲۳٪ کاهش یافته است. با توجه به مباحث طراحی سازه‌های بتن مسلح، افزایش ارتفاع تیر باعث افزایش سختی و یکپارچگی ظرفیت تیر و در نتیجه افزایش ظرفیت باربری و کاهش تغییر مکان جانبی کل دیوار خواهد شد.

#### ۴-۳- اثر وجود میلگردگذاری قطری در نواحی مختلف دیوار برشی هم‌بسته

پس از طراحی دیوارهای برشی ساختمان ۵ طبقه بتنی در بخش قبل، نرم‌افزار ETABS 9.7.4 حداکثر آرما تور برشی قطری را مشخص می‌نماید. در این پروژه حداکثر مقدار آرما تور قطری گزارش شده،  $26/4 \text{ cm}^2$  بوده که معادل ۴ عدد آرما تور شماره ۲۶ می‌باشد. جزییات تیر همبند طراحی شده در شکل ۲۳ آورده شده است.



شکل ۲۳: میلگردگذاری قطری نمونه طراحی شده

Fig. 23. Diagonal reinforcement of the coupling beam

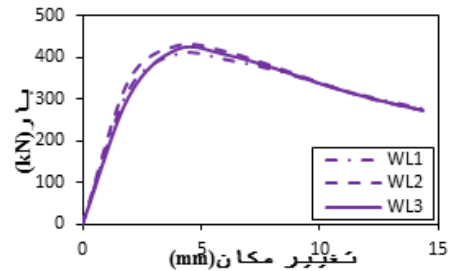
در این بخش میلگرد قطری علاوه بر تیر همبند در سایر نواحی دیوار برشی هم‌بسته استفاده شده و تأثیر آن بر ظرفیت باربری نمونه‌ها بررسی می‌گردد. شکل ۲۴ نمونه‌های طراحی شده در این قسمت را نشان می‌دهد. نمودار بار تغییر مکان نمونه‌های مدل‌سازی شده در نرم‌افزار آباکوس در شکل ۲۵ آورده شده است. مطابق با نمودارهای نشان داده شده در این شکل، وجود میلگردهای قطری در تیر همبند باعث افزایش ۱۴/۶ درصد ظرفیت جانبی دیوارهای برشی هم‌بسته شده و همچنین ظرفیت نمونه WDIA1 تغییر چندانی نسبت به نمونه WDIA2 نداشته که دلیل آن می‌تواند این باشد که نواحی کناری گشودگی جزء ناحیه فشاری مؤثر دیوار برشی هم‌بسته نبوده و قرار دادن میلگرد قطری در این نواحی تأثیر چندانی در افزایش همبستگی و ظرفیت جانبی نمونه‌ها نخواهد داشت. نمونه WDIA3 دارای افزایش ۱۹/۷٪ ظرفیت جانبی نسبت به نمونه WDIA1 می‌باشد و دلیل آن این است که وجود میلگرد قطری در پای دیوار با تقویت ناحیه تحت فشار، افزایش همبستگی نمونه و کاهش روند توسعه ترک‌ها در ناحیه تحت کشش باعث افزایش ظرفیت باربری این نمونه شده است.

#### جدول ۶: نمونه‌های طراحی شده برای بررسی اثر ارتفاع تیر همبند

Table 6. Modeled wall to investigate the effect of coupling beam height

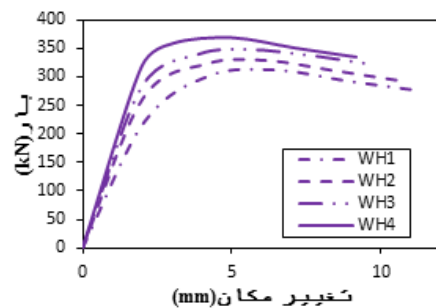
نام نمونه	ارتفاع تیر همبند (cm)	نسبت دهانه تیر همبند به طول دیوار
WH1	۸۰	۰/۳۸
WH2	۱۰۰	۰/۴۴
WH3	۱۲۰	۰/۴۸
WH4	۱۴۰	۰/۵۲

شکل‌های ۲۱ و ۲۲ نمودار بار تغییر مکان نمونه‌های طراحی شده را نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۲۱ مشاهده می‌گردد، با افزایش نسبت دهانه تیر همبند به طول دیوار از مقدار ۰/۳۷ به ۱، تأثیری بر سختی و همبستگی دیوار و در نتیجه ظرفیت جانبی دیوار ایجاد نشده و دلیل آن این است که افزایش عرض تیر تأثیری بر سختی تیر همبند و در نتیجه ظرفیت باربری نمونه کلی نخواهد داشت.



شکل ۲۱: نمودار بار تغییر مکان نمونه‌های دارای دهانه متفاوت تیر همبند

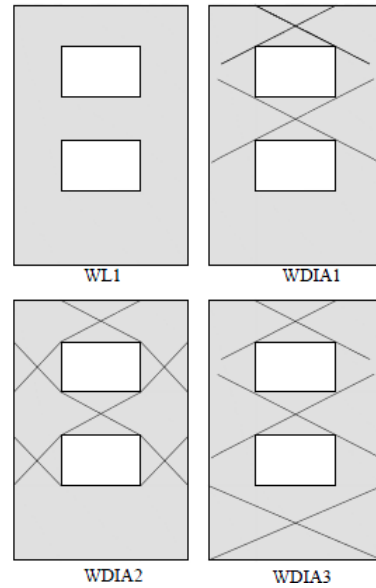
Fig. 21. Load-displacement of modeled walls with different width of coupling beam



شکل ۲۲: نمودار بار تغییر مکان نمونه‌های دارای ارتفاع متفاوت تیر همبند

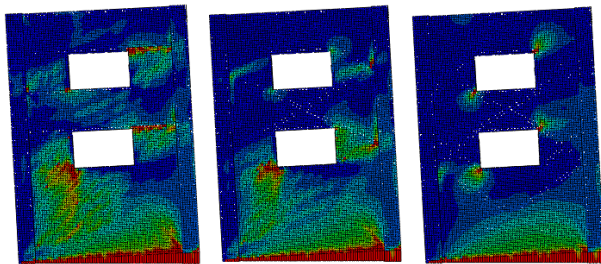
Fig. 22. Load-displacement of modeled walls with different height of coupling beam

گشودگی، ابعاد تیر همبند و میلگردگذاری قطری به تفکیک بر رفتار و ظرفیت باربری دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی بررسی شد. با مقایسه پارامترهای بررسی شده می‌توان دریافت که موقعیت گشودگی، ارتفاع تیر همبند و وجود میلگرد قطری در پای دیوار بیشترین تأثیر را بر ضریب همبستگی دیوار و مشارکت حداکثری مساحت ناحیه مؤثر فشاری دیوار و در نتیجه ظرفیت باربری نمونه‌ها دارد. با مقایسه و بررسی نتایج، مقادیر پیشنهاد شده در جدول ۷ در محدوده مدل‌سازی عددی انجام شده در این مقاله برای طراحی مناسب تر دیوارهای برشی دارای یک و دو ردیف گشودگی پیشنهاد شده تا با مطالعات و تحقیقات بیشتر بر روی این نسبت ها به نتایج قابل قبول و کلی برای طراحی این نوع از دیوارها منجر شود.



شکل ۲۴: نمونه‌های طراحی شده برای بررسی اثر قرار گیری میلگرد قطری در نواحی مختلف دیوار

Fig. 24. Modeled walls to investigate the effect of diagonal reinforcement in different parts of the wall



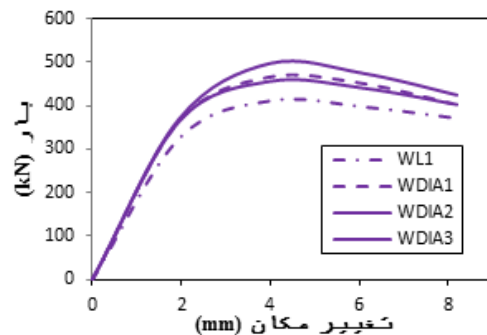
شکل ۲۶: مود خرابی نمونه‌های WL1, WDIA1, WDIA3

Fig. 26. Failure mechanism of specimens of WL1, WDIA1, WDIA3

جدول ۷: مقادیر پیشنهادی برای طراحی مناسب دیوار برشی

Table 7. Proposed values of appropriate designing of concrete shear wall

مقدار یا نسبت پیشنهاد شده	پارامتر مورد بررسی
متقارن و در مرکز دیوار	موقعیت گشودگی (یک ردیف گشودگی)
۱/۷٪	درصد مساحت میلگرد قطری در تیر همبند (در محدوده بررسی شده)
علاوه در تیر همبند در ناحیه پای دیوار نیز میلگرد قطری قرار گیرد	نحوه قرارگیری میلگردگذاری قطری
۰/۵۲٪	نسبت ارتفاع تیر همبند به ارتفاع طبقه
۵٪ < (کناری دهانه طول)/(میانی دهانه طول)	دیوار بادو ردیف گشودگی



شکل ۲۵: نمودار بار تغییر مکان نمونه‌های دارای میلگرد قطری در نواحی مختلف نمونه

Fig. 25. Load-displacement of modeled walls with diagonal reinforcement in different parts of the wall

شکل ۲۶ مکانیزم شکست نمونه‌های WL1، WDIA1 و WDIA3 را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، وجود میلگرد قطری باعث شده تا رشد و توسعه ترک‌ها در نواحی تحت فشار دیوار کاهش یابد و همین امر باعث افزایش ظرفیت باربری این نمونه‌ها شده است.

۴-۴- تأثیر جمعی پارامترهای بررسی شده

در این پژوهش تأثیر پارامترهای مساحت و موقعیت گشودگی، ابعاد

## ۵- بحث و نتیجه‌گیری

دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی مورد استفاده قرار گیرد.

### مراجع

- [1] T.P.M.J.N. Priestly, Seismic Design Of Reinforced Concrete And Masonry Buildings, Wiley, 1986.
- [2] A. Tasnimi, The Seismic Behavior and Design of Concrete Buildings, first ed., Building and Housing Research Center, Tehran, 2001.
- [3] C. Lin, C. Kuo, Behavior of shear wall with Opening, in: Proceedings of ninth world conference on earthquake engineering, 1988, pp. 2-9.
- [4] N.K.J.J.o.S.E. Subedi, RC-coupled shear wall structures. I: Analysis of coupling beams, 117(3) (1991) 667-680.
- [5] G.O. Aguda, Ultimate Strength Tests For RC Coupled Wall With Two Bands Of Openings, University of Dundee, 1991.
- [6] F. Yanez, R. Park, T. Paulay, Seismic behaviour of walls with irregular openings, in: Earthquake Engineering, World Conference, Balkerna, Rotterdam, 1992, pp. 3303-3308.
- [7] C. Balkaya, E.J.J.o.s.e. Kalkan, Three-dimensional effects on openings of laterally loaded pierced shear walls, 130(10) (2004) 1506-1514.
- [8] M. Warashina, S. Kono, M. Sakashita, H. Tanaka, Shear behavior of multi-story RC structural walls with eccentric openings, in: The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 2008, pp. S15-029.
- [9] J. Wang, Sakashita, M., Kono, S. et al. J., N., Behavior Of Reinforced Concrete Walls With Different Openings Locations: Experiment And Macro Model, Journal of Zhejiang University-SCIENCE A, (2012).
- [10] S.R. Chowdhury, M. Rahman, M. Islam, A.J.I.J.o.C.A. Das, Effects of openings in shear wall on seismic response of structures, 59(1) (2012).
- [11] M.J.E.F.A. Marius, Seismic behaviour of reinforced concrete shear walls with regular and staggered openings after the strong earthquakes between 2009 and 2011, 34 (2013) 537-565.
- [12] T. Yu, J. Teng, Y. Wong, S.J.E.s. Dong, Finite element modeling of confined concrete-II: Plastic-damage model, 32(3) (2010) 680-691.
- [13] J. Lubliner, J. Oliver, S. Oller, E.J.I.J.o.s. Onate, structures, A plastic-damage model for concrete, 25(3) (1989) 299-326.
- [14] D.S.J.P. Simulia, RI, USA: DS SIMULIA Corp, Abaqus 6.11 theory manual, (2011).
- [15] K. Maekawa, H. Okamura, A. Pimanmas, Non-linear mechanics of reinforced concrete, CRC Press, 2014.

این پژوهش با هدف ایجاد یک مدل عددی برای بررسی تاثیر پارامترهای مؤثر بر ظرفیت باربری و رفتار دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی‌های منظم توسط روش اجزا محدود غیرخطی در نرم‌افزار آباکوس انجام شده است. برای انجام این کار ابتدا مطالعات جامعی بر رفتار و ظرفیت باربری دیوارهای برشی بتن مسلح دارای گشودگی انجام شده و پس از آن نمونه‌های آزمایشگاهی در نرم‌افزار آباکوس مدل‌سازی گردیده و خروجی حاصل از تحلیل غیرخطی مدل‌های عددی در نرم‌افزار توسط نتایج آزمایشگاهی صحت‌سنجی شده است. مهم‌ترین نتایج حاصل از این پژوهش عبارتند از:

۱. موقعیت گشودگی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ضریب همبستگی دیوار و مشارکت حداکثری مساحت ناحیه تحت فشار دیوار (ایجاد مفصل خمیری در پای دیوار و تیرهای همبند) هنگام اعمال بار جانبی بوده و قرارگیری گشودگی در مرکز دیوار به صورت متقارن سبب شده تا ضریب همبستگی نمونه هنگام تغییر جهت نیرو در بار زلزله تفاوتی نداشته باشد و ظرفیت باربری دیوار دستخوش تغییرات محسوسی نشود.
۲. در نمونه‌های دارای دو ردیف گشودگی و به صورت متقارن در صورتی که نسبت طول دیواره‌های کناری به طول دیواره میانی بیش از ۵۰٪ باشد، نمونه به حداکثر ضریب یکپارچگی خود رسیده و در پای تمامی دیواره‌ها و انتهای تیرهای همبند مفصل خمیری تشکیل شده و بیشترین ظرفیت باربری نمونه حاصل می‌شود.
۳. با مقایسه ظرفیت باربری نمونه‌های دارای یک و دو ردیف گشودگی و همچنین کاهش حداکثری ضریب همبستگی و ناحیه مؤثر تحت فشار دیوار هنگام قرارگیری گشودگی در پای نمونه علیرغم عدم تغییر نسبت مساحت گشودگی به مساحت کل دیوار، می‌توان نتیجه گرفت که در صورت عدم تغییر مکانیزم شکست خمشی دیوار، موقعیت گشودگی پارامتری مؤثرتر بر ظرفیت باربری دیوارهای برشی نسبت به مساحت گشودگی می‌باشد.
۴. در صورتی که ارتفاع تیر همبند به اندازه ۵۰٪ ارتفاع طبقه برابر طراحی گردد، به دلیل ایجاد سختی مناسب، همبستگی بالایی در دیوار ایجاد شده و همین امر سبب می‌گردد تا ظرفیت باربری نمونه ضمن داشتن تغییر مکان جانبی کافی بیشترین افزایش را داشته باشد. این در حالی است که افزایش ۴۰ درصدی نسبت عرض تیر به عرض دیوار تغییر خاصی در همبستگی نمونه و در نتیجه ظرفیت باربری دیوار ایجاد نکند.
۵. قرار دادن میلگرد قطری در تیر همبند و همچنین در پای دیوار، باعث کاهش روند توسعه ترک‌ها در نواحی تحت کشش، ایجاد همبستگی بیشتر در دو طرف تیر همبند و تقویت ناحیه مؤثر فشاری شده و می‌تواند به عنوان پیشنهادی جدید در طراحی

- [18] P. Kmiecik, M.J.A.o.c. Kamiński, m. engineering, Modelling of reinforced concrete structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration, 11(3) (2011) 623-636.
- [19] H.B. Kupfer, K.H.J.J.o.t.E.M.D. Gerstle, Behavior of concrete under biaxial stresses, 99(4) (1973) 853-866.
- [16] A. Belarbi, T.T.J.S.J. Hsu, Constitutive laws of concrete in tension and reinforcing bars stiffened by concrete, 91(4) (1994) 465-474.
- [17] H. Shima, L.-L. Chou, H.J.J.o.t.F.o.E. Okamura, Micro and macro models for bond in reinforced concrete, 39(2) (1987) 133-194.

Please cite this article using:

A. Arabzade, M. Mozaffar Jazi., Effective Parameters on Behavior and Load Capacity of Concrete Shear Wall with Regular Opening, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(3) (2018) 421-432.

DOI: 10.22060/ceej.2017.11960.5109

