



## ارزیابی مدل سازی دیوار برشی به عنوان سخت کننده در بخش تحتانی و فوقانی دال فونداسیون و تاثیر آن بر نحوه ی نشست ها و میلگرد مصرفی فونداسیون

پریچهر میرزایی<sup>۱\*</sup>، محسن موسیوند<sup>۲</sup>، علیرضا گرایلی<sup>۲</sup>

<sup>۱\*</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران

(Mirzaei.1996.p@gmail.com)

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۲۱)

### چکیده

یکی از عوامل اصلی در طراحی ساختمان‌های بلند، تأمین سختی و مقاومت کافی برای مقابله با نیروهای جانبی به وجود آمده توسط باد و زلزله می باشد، و یکی از راه های تأمین سختی و مقاومت، استفاده از دیوار برشی و نیز بهترین شیوه برای کنترل خیز جانبی ساختمان ها است. یکی از معیارهای طراحی سازه ها، کنترل تغییرمکان جانبی آن ها در برابر بارهای جانبی می باشد که دیوارهای برشی به علت سختی و مقاومت بالا، نقش مهمی در کاهش جابه جایی جانبی سازه در برابر باد و زلزله ایفاء می کند. در این پژوهش به مدل سازی و تحلیل دیوار برشی با استفاده از نرم افزار SAFE و ABAQUS و مقایسه اندرکنش خاک و سازه در اثر حضور دیوار برشی در قسمت های تحتانی و فوقانی فونداسیون و تاثیر آن بر نحوه ی نشست ها و میلگرد مصرفی فونداسیون پرداخته شده است. طبق نتایج به دست آمده بهترین آرایش دیوار برشی تحتانی می باشد، که تاثیر بسزایی در نشست زیر فونداسیون دارد. ولی با توجه به میزان مصرف میلگرد در فونداسیون ها در دیوار برشی زیر فونداسیون نسبت به دیوار برشی روی فونداسیون مصرف میلگرد بیشتر شده است.

### کلمات کلیدی

دیوار برشی، تحلیل دینامیکی، اجزای محدود، مصرف میلگرد، نشست.



# Assessing the Modeling of Shear Wall as a Stiffener at the Above and Below the Foundation Slab and Its Effect on the Procedure of Settlements and Foundation Rebar Consumption

Parichehr Mirzaei <sup>1\*</sup>, Mohsen Mosivand <sup>2</sup>, Alireza Graili <sup>2</sup>

<sup>\*1</sup> Ms.c. of Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Gonbadkavos Branch, Islamic Azad University, Gonbadkavos, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Ms.c. of Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Gonbadkavos Branch, Islamic Azad University, Gonbadkavos, Iran

(Mirzaei.1996.p@gmail.com)

(Date of received: 06/04/2024, Date of accepted: 11/08/2024)

## ABSTRACT

One of the main factors in the design of tall buildings is to provide sufficient hardness and resistance to deal with the side forces caused by wind and earthquakes, and one of the ways to provide hardness and resistance is to use shear walls and also the best way to control the rise. It is the side of the buildings. One of the criteria for the design of structures is to control their lateral displacement against lateral loads. Shear walls play an important role in reducing the lateral displacement of structures against wind and earthquake due to their high hardness and resistance. In this research, the modeling and analysis of the shear wall using SAFE and ABAQUS software and the comparison of the interaction between the soil and the structure due to the presence of the shear wall in the lower and upper parts of the foundation and its effect on the settlements and rebar used in the foundation have been discussed. Is. According to the obtained results, the best arrangement is the lower shear wall, which has a significant effect on the settlement under the foundation. But according to the amount of rebar consumption in the foundations, the consumption of rebar has increased in the shear wall under the foundation compared to the shear wall on the foundation.

## Keywords:

Shear wall, Dynamic analysis, Finite combination, Consumption of rebar Seating.



## ۱- مقدمه

امروزه بلندمرتبه سازی به دلیل رشد جمعیت و استفاده بهینه از زمین، مورد توجه بسیاری از مهندسين قرار گرفته است و از عوامل اصلی در طراحی ساختمان های بلند، تأمین سختی و مقاومت کافی برای مقابله با نیروهای جانبی به وجود آمده توسط باد و زلزله می باشد، و یکی از راه های تأمین سختی و مقاومت، استفاده از دیوار برشی و نیز بهترین شیوه برای کنترل خیز جانبی ساختمان ها است، از آنجاکه این دیوارها قسمت عمده نیروهای جانبی وارد بر سازه و برش حاصل از آن را جذب می کنند، به نام دیوارهای برشی شناخته می شوند. دیوارهای برشی یا سازه ای، یکی از متداول ترین و موثرترین سیستم های مقاوم جانبی در سازه های بتن آرمه و فولادی محسوب گردد. یکی از معیارهای طراحی سازه ها، کنترل تغییر مکان جانبی آن ها در برابر بارهای جانبی می باشد که دیوارهای برشی به علت سختی و مقاومت بالا، نقش مهمی در کاهش جابه جایی جانبی سازه در برابر باد و زلزله ایفاء می کند. زلزله پدیده ای طبیعی است که در اثر حرکت صفحات زمین تشکیل می شود و باعث ایجاد تغییر مکان های بزرگ در انواع سازه ها می شود که در نهایت ممکن است منجر به تخریب جزئی یا کامل آنها شود. عواملی که به عنوان پارامترهای اصلی مؤثر بر پاسخ زلزله در نظر گرفته می شود، شامل مقاومت، شکل پذیری و سختی هستند. سختی سازه یکی از بااهمیت ترین پارامترهای مورد نیاز برای پاسخ زلزله است؛ مخصوصاً هنگامی که تحت زلزله های مکرر کوچک قرار میگیرد (النشای و دی سارنو، ۲۰۰۸). یکی از آثار مخرب زلزله اثر آن بر خاک زیر شالوده است. زلزله باعث افت مقاومت خاک و در نتیجه باعث نشست شالوده و نهایتاً نشست سازه می شود. همچنین در خاک هایی با سختی کم مانند خاک های نرم، زلزله باعث ایجاد تغییر مکان های بزرگ در خاک می شود که بر اثر اندرکنش خاک و سازه، این تغییر مکان ها به سازه نیز اعمال می شود و سازه نیز دچار تغییر مکان های بزرگ می شود که باعث لزوم افزایش شکل پذیری سازه و در نتیجه افزایش مقدار میلگردها و هزینه ی بیشتر می شود. یکی از راه های جلوگیری از این اتفاق افزایش سختی خاک و کاهش نیروی زلزله ی وارده به خاک است. این کار می تواند از طریق محصور کردن خاک زیر شالوده با دیوار برشی حاصل گردد. دیوارهای برشی با مقاومت در برابر بارهای قائم و بار زلزله، بیشترین سهم را در تحمل نیروی برش پایه دارند. در طراحی لرزه ای، سختی جانبی کافی یک نیاز ضروری جهت کنترل تغییر شکل ها است. دیوارهای برشی با دارا بودن سختی قابل توجه، میتواند به عنوان یکی از سیستم های باربر جانبی استفاده گردد. برای افزایش درجه ایمنی در برابر ریزش ساختمان و جلوگیری از ناپایداری سازه و همچنین برای جلوگیری از آسیب به اجزای غیر سازه ای، وجود دیوار برشی از گزینه های قابل اعتمادی است که می توان در ساختمان ها از آن استفاده کرد (تسنیمی ۱۳۸۸). دیوار برشی باعث افزایش چشمگیر سختی ساختمان به نحوی است که اثرات ثانویه نقش موثری دارد؛ این مزیت خود به خود موجب افزایش درجه ایمنی در مقابل شکست و ریزش ساختمان می شود کاهش قابل ملاحظه خسارت به عناصر غیرسازه ای که در اکثر موارد هزینه آنها کمتر از هزینه ی اعضای سازه ای نیست. دیوارهای برشی قادرند حتی پس از پذیرش ترک های زیاد، بارهای زیاد که برای آنها طراحی شده اند را تحمل کنند. این پدیده را به طور کل نمی توان از ستون ها انتظار داشت. این سختی بالای دیوار برشی باعث می شود اکثر نیروی زلزله را جذب کند و نیروی زلزله کمتری به خاک برسد و افت مقاومت خاک کاهش یابد. همچنین با محصور کردن خاک زیر شالوده، تغییر مکان های آن را کنترل می کند و کاهش می دهد. با تمام این اوصاف، تحقیقات انجام شده در این زمینه غالباً به بررسی رفتار سازه ها و سیستم های مختلف سازه ای به خصوص سازه های دارای دیوار برشی در برابر زلزله پرداخته اند و راه حلی عملی و قابل اجرا برای کاهش و حتی حذف اثرات مخرب زلزله بر سازه ارائه نداده اند. آنچه که در این پژوهش مورد مطالعه قرار می گیرد، راه حلی برای کاهش اثر مخرب زلزله در کاهش نشست های سازه و کاهش تغییر مکان های سازه و در نتیجه کاهش میلگرد مصرفی در سازه است که دارای تازگی است و توسط هیچ محققى انجام نشده است. اهداف تحقیق شامل مراحل زیر می باشد:

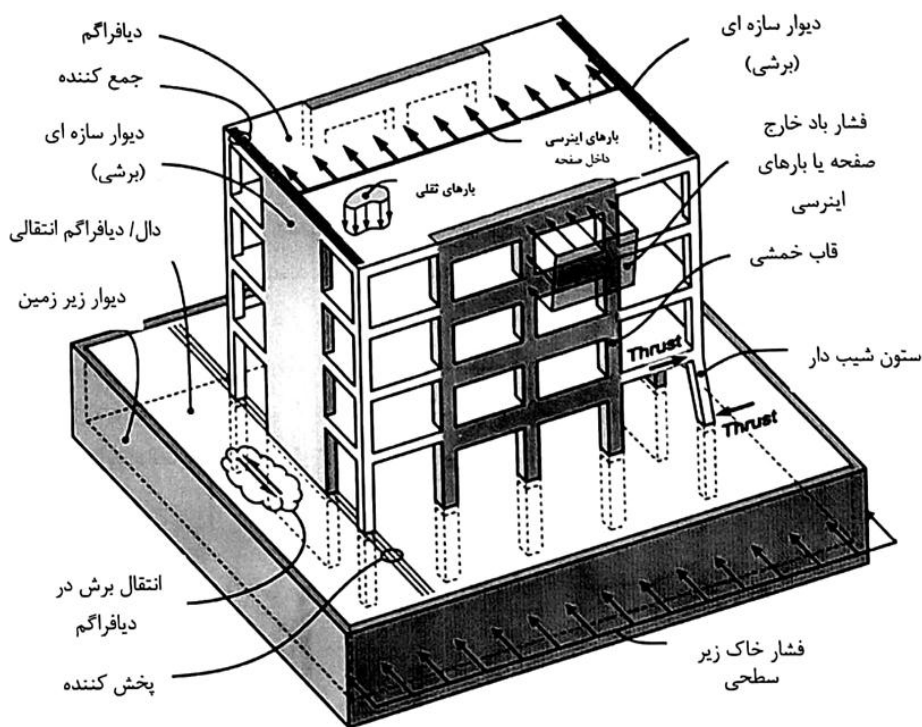
الف) یافتن روشی مناسب برای کاهش نشست سازه و کاهش مصرف میلگرد

ب) پیدا کردن ابعاد مناسب دیوار برشی برای بدست آوردن حداکثر کاهش نشست و مقدار میلگرد



## ۲- دیوار برشی

واژه دیواربرشی برای تشریح دیواری است که علاوه بر تحمل بارهای ثقلی وارد از کف و سقف مجاور دیوار، برای تحمل بارهای جانبی باد و زلزله اعمالی به صورت موازی با صفحه‌ی دیوار به‌کار می‌رود. چنین دیوارهایی در فصل هجدهم آیین نامه ACI 318-14 به عنوان دیوارهای سازه‌ای معرفی می‌گردند. دیوارهای برشی اعضای سطحی هستند که از بتن آرمه، فولاد یا مصالح دیگر تشکیل می‌شوند. دیوارهای برشی بتنی می‌توانند از بتن درجا یا بتن پیش‌ساخته و مصالح بنایی ساخته شوند. دیوارهای برشی در مقایسه با قاب‌های صلب بسیار سخت‌تر هستند و به همین جهت انتظار می‌رود در اثر زلزله تحت نیروهای جانبی بزرگ‌تری قرار گیرند. در مقابل، تغییر مکان جانبی ساختمان‌های با دیواربرشی به مراتب کمتر از قاب‌های صلب خواهد بود. هرچند دیوارهای برشی ممکن است دیوارهای صفحه‌ای ساده باشند، در صورتی که چندین قطعه دیوار باهم متصل شوند به عنوان یک مجموعه سه بعدی واحد عمل خواهند کرد. چنین مجموعه دیوارها با مقاطع عرضی منظم یا نامنظم T، C، L و یا H شکل (دیوارهای بالدار) دارای جان و بال که می‌توانند فضاهایی در ساختمان، از جمله فضای راه‌پله و باکس‌های آسانسور را محصور کنند.



(الف)

شکل ۱: نمای سه بعدی دیوار برشی در ساختمان (خیرالدین، امامی ۱۳۹۸).

## ۲-۱- دیواربرشی بتن آرمه

دیواربرشی بتن آرمه، یک صفحه‌ی قائم بتن آرمه است که آرماتورهای آن از فونداسیون شروع شده و به صورت پیوسته در دو جهت افقی و قائم در داخل دیوار ادامه می‌یابند. دیوار برشی بتن آرمه در سازه‌های با اسکلت بتن آرمه، فولادی و مرکب کاربرد دارد. در هر یک از این سازه‌ها، دیواربرشی می‌تواند با آرماتورگذاری یکنواخت یا متمرکز، با یا بدون اعضای مرزی، هسته‌ی مقاوم و به‌صورت کوپله یا پر اجرا شود. آرماتورهای دیوار برشی باید در داخل تیرها و ستون‌های قاب اطراف خود ادامه یابند.



### ۲-۲- انواع دیوار برشی

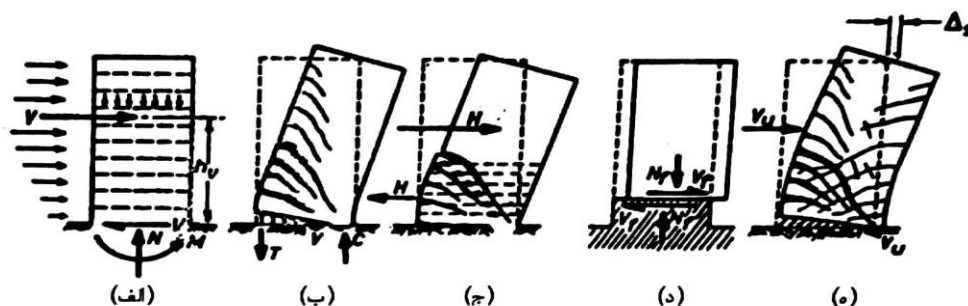
در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۹۲) و آیین نامه‌ی بتن ایران (آبا)، دیوارها به چهار صورت زیر دسته بندی شده‌اند:

۱. دیوار باربر: دیواری است که به طور عمده زیر اثر بارهای قائم واقع در میان صفحه‌ی خود، توام با لنگر خمشی یا بدون آن، قرار می‌گیرد.
۲. دیوار برشی: دیواری است که به طور عمده زیر اثر بارهای افقی واقع در میان صفحه‌ی خود قرار می‌گیرد و نقش عمده‌ی آن شرکت در انتقال نیروهای جانبی ناشی از زلزله یا اثر باد است.
۳. دیوار حائل: دیواری است که به طور عمده زیر اثر بارهای عمود بر میان صفحه‌ی خود قرار می‌گیرد.
۴. دیوار پای بست: این دیوار فقط در آیین نامه‌ی بتن ایران تعریف شده است و به دیوارهای اطلاق می‌گردد که بارفتاری مشابه تیرتیغه که در سیستم پی نقش انتقال یا توزیع بار را دارد و ارتباط بنا را با شالوده‌ی آن برقرار می‌کند. همچنین دیوارهای برشی را میتوان از چند جهت تقسیم بندی کرد. هندسه ی دیوار، نسبت ابعاد دیوار و میزان و توزیع فولاد این تقسیم‌بندی را تشکیل می‌دهد.

### ۳-۲- خرابی دیوار برشی

مودهای خرابی، علت فیزیکی و نوع گسیختگی المانهای سازه‌ای را توصیف می‌کند. مودهای خرابی می‌تواند به عواملی همچون: هندسه مقطع، جزئیات آرماتورگذاری، مشخصات فولاد، با محوری، مقاومت فشاری بتن و شرایط المان مرزی وابستگی داشته باشد. مدهای خرابی دیوارهای برشی بتنی را میتوان در دو گروه دسته‌بندی کرد:

۱. خرابی خمشی
۲. خرابی برشی
۳. خرابی در لغزش
۴. ضعف در شالوده



شکل ۲: شکل شماتیک مدهای خرابی در دیوارهای برشی طره‌ای (خیرالدین، امامی ۱۳۹۸).

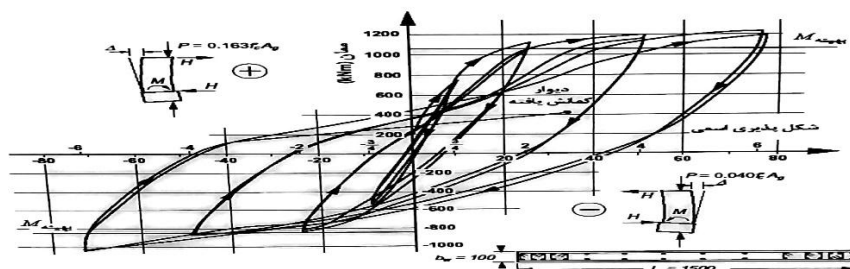


شکل ۳: انواع مدهای خرابی دیوار برشی بتن آرمه (خیرالدین، امامی ۱۳۹۸).



## ۴-۲- خرابی خمشی

در این حالت عکس‌العمل دینامیکی در زلزله بیشتر با عامل لنگر خمشی است و نیروهای جانبی در امتداد پهنای باند (بعد بزرگ پلان) عمل می‌کنند و مفصل پلاستیک در مقطع پای دیوار تشکیل می‌شود. نمودار تغییرات بار وارده و تغییر مکان یک دیوار برشی طره‌ای که بار آن به صورت متناوب اعمال شده (منحنی هیستریسیس)، در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴: رابطه بار - تغییر مکان (منحنی هیستریسیس) برای یک دیوار برشی طره‌ای با گسیختگی خمشی (خیرالدین، امامی ۱۳۹۸).

نکته قابل توجه این است که مقطع بحرانی مفصل پلاستیک، محل برش حداکثر هم می‌باشد. ارتفاعی از دیوار که در آن جاری شدن اتفاق می‌افتد (مقطع مفصل پلاستیک)، در حدود یک تا یک و نیم برابر پهنای دیوار است که باید با پیش‌بینی قبلی به عنوان منطقه‌ی بحرانی به خوبی فولادگذاری شود و مخصوصاً فولادگذاری برشی کافی در آن موجود باشد. خرابی‌های خمشی معمولاً بر اثر ترک‌های خمشی ایجاد می‌شود. موده‌های خرابی خمشی شامل خرابی خمشی - محوری بتن، شکست آرماتور طولی و کمانش فولاد طولی هستند. این خرابی در محل مفصل پلاستیک در پای دیوار رخ می‌دهد. محل مفصل پلاستیک محل برش حداکثر است و باید در این محل فولادگذاری مناسب به خصوص فولاد برشی کافی تعبیه شود. (Paulay & Priestly 1992)

## ۲-۵- خرابی خمشی - محوری بتن

این نوع خرابی معمولاً در دیوارهایی رخ می‌دهد که المان مرزی دیوار، محصورشدگی مناسبی ندارد و باعث ایجاد تمرکز فشارهای خمشی و محوری در ناحیه المان مرزی می‌شود.

### الف - شکست آرماتور طولی

در دیوارهای با مقادیر آرماتور خمشی کم، شکست آرماتور طولی می‌تواند باعث ایجاد خرابی در دیوار شود، حتی زمانی که دیوار به مرحله غیر ارتجاعی نرسیده باشد.

### ب - کمانش فولاد طولی

کمانش فولادهای طولی از خرابی‌هایی است که شبیه آن در ستون‌ها اتفاق می‌افتد. تحت بارگذاری رفت و برگشتی، کرنش‌های متناوب کششی و فشاری در فولاد طولی رخ می‌دهد. هنگامی که پوشش بتن خرد می‌شود، محصورشدگی میلگرد در بین فولادهای عرضی از بین می‌رود و بتن محصورشده توسط فولادهای طولی و عرضی تمایل به منبسط شدن دارد و در نتیجه فولاد طولی کمانش می‌کند. خرابی‌های برشی در دیوارهای بلند خرابی برشی معمولاً در منطقه مفصل پلاستیک رخ می‌دهد در این منطقه ترک‌های خمشی با ترک‌های قطری برشی جمع شده و باعث می‌شود بعد از چند سیکل بارگذاری، بتن قادر به تحمل برش نباشد و فقط فولادهای افقی در برابر برش مقاومت کنند. (Paulay & Priestly 1992). می‌دانیم اصل بر این است که خرابی برشی زودتر از خرابی خمشی به



وجود نیاید. در حالت بحرانی، حداکثر ظرفیت خمشی در مقطع پای دیوار به کار گرفته می‌شود و در همین مقطع نیروی برشی نظیر هم تاثیر می‌کنند. نیروی برشی نظیر تابعی از ارتفاع نقطه اثر منته‌نیروهای اینرسی جانبی می‌باشد. آیین‌نامه‌های محاسباتی برای این نیروها شکل توزیع مثلثی را در ارتفاع ساختمان توصیه می‌کنند که در واقع عبارتست از فرض تغییرات خطی برای شتاب طبقات بر حسب ارتفاع آن‌ها تا پای ساختمان. این نوع تغییرات شتاب که در واقع شکل تقریبی توزیع نیروهای اینرسی در مد اصلی ارتعاش است محل برآیند نیروهای اینرسی را در  $2/3$  ارتفاع به دست می‌دهد. تحلیل دینامیکی در منطقه غیر الاستیک نشان می‌دهد که برش پای دیوار به مقدار زیادی تحت تاثیر مدهای بالاتر ارتعاش قرار می‌گیرد. در ترکیبات مدهای مختلف، ارتفاع برآیند نیروها هیچوقت به  $2/3$  ارتفاع کل نمی‌رسد و همیشه به مقدار قابل توجهی پایین‌تر از آن قرار می‌گیرد. بنابراین اگر قرار باشد در حالت بحرانی، ظرفیت کامل خمشی مقطع پای دیوار به کار گرفته شود، نیروی برشی نظیر با داشتن بازوی لنگر کوچکتر، خیلی بزرگ‌تر از مقدار محاسباتی خواهد بود. تحقیقات روی دیوار برشی نشان می‌دهد که نسبت برش حداکثر دینامیکی به برش نظیر مد اصلی (آنچه که در آیین‌نامه‌های محاسباتی با توزیع مثلثی مطرح است)، تابع پیروید اصلی ارتعاش دیوار ( $T$ ) و شکل‌پذیری مقطع دورانی دیوار ( $\mu$ ) است و با بزرگ شدن پیروید اصلی ارتعاش دیوار ( $T$ ) و شکل‌پذیری ( $\mu$ ) بزرگ‌تر می‌شود: مثلاً برای مقدار  $T$  بین  $0.5$  و  $2.5$  ثانیه و  $\mu$  بین  $2$  و  $6$  این نسب از  $1.3$  تا  $4$  تغییر می‌نماید. بنابراین ضعف در برش در دیوارهای بلند یا لاغر (که پیروید ارتعاش بزرگ‌تری دارند) بیش از دیوارهای کوتاه یا چاق است. همچنین دیوارهای برشی کوتاه، خرابی برشی به صورت ترک‌های قطری در جان دیوار و لغزش برشی در پای دیوار رخ می‌دهد.

## ۲-۶- خرابی‌های برشی

در دیوارهای بلند خرابی برشی معمولاً در منطقه مفصل پلاستیک رخ می‌دهد در این منطقه ترک‌های خمشی با ترک‌های قطری برشی جمع شده و باعث می‌شود بعد از چند سیکل بارگذاری، بتن قادر به تحمل برش نباشد و فقط فولادهای افقی در برابر برش مقاومت کنند. (Paulay & Priestly (1992)). می‌دانیم اصل بر این است که خرابی برشی زودتر از خرابی خمشی به وجود نیاید. در حالت بحرانی، حداکثر ظرفیت خمشی در مقطع پای دیوار به کار گرفته می‌شود و در همین مقطع نیروی برشی نظیر هم تاثیر می‌کنند. نیروی برشی نظیر تابعی از ارتفاع نقطه اثر منته‌نیروهای اینرسی جانبی می‌باشد. آیین‌نامه‌های محاسباتی برای این نیروها شکل توزیع مثلثی را در ارتفاع ساختمان توصیه می‌کنند که در واقع عبارتست از فرض تغییرات خطی برای شتاب طبقات بر حسب ارتفاع آن‌ها تا پای ساختمان. این نوع تغییرات شتاب که در واقع شکل تقریبی توزیع نیروهای اینرسی در مد اصلی ارتعاش است محل برآیند نیروهای اینرسی را در  $2/3$  ارتفاع به دست می‌دهد. تحلیل دینامیکی در منطقه غیر الاستیک نشان می‌دهد که برش پای دیوار به مقدار زیادی تحت تاثیر مدهای بالاتر ارتعاش قرار می‌گیرد. در ترکیبات مدهای مختلف، ارتفاع برآیند نیروها هیچوقت به  $2/3$  ارتفاع کل نمی‌رسد و همیشه به مقدار قابل توجهی پایین‌تر از آن قرار می‌گیرد. بنابراین اگر قرار باشد در حالت بحرانی، ظرفیت کامل خمشی مقطع پای دیوار به کار گرفته شود، نیروی برشی نظیر با داشتن بازوی لنگر کوچکتر، خیلی بزرگ‌تر از مقدار محاسباتی خواهد بود. تحقیقات روی دیوار برشی نشان می‌دهد که نسبت برش حداکثر دینامیکی به برش نظیر مد اصلی (آنچه که در آیین‌نامه‌های محاسباتی با توزیع مثلثی مطرح است)، تابع پیروید اصلی ارتعاش دیوار ( $T$ ) و شکل‌پذیری مقطع دورانی دیوار ( $\mu$ ) است و با بزرگ شدن پیروید اصلی ارتعاش دیوار ( $T$ ) و شکل‌پذیری ( $\mu$ ) بزرگ‌تر می‌شود: مثلاً برای مقدار  $T$  بین  $0.5$  و  $2.5$  ثانیه و  $\mu$  بین  $2$  و  $6$  این نسب از  $1.3$  تا  $4$  تغییر می‌نماید. بنابراین ضعف در برش در دیوارهای بلند یا لاغر (که پیروید ارتعاش بزرگ‌تری دارند) بیش از دیوارهای کوتاه یا چاق است. همچنین دیوارهای برشی کوتاه، خرابی برشی به صورت ترک‌های قطری در جان دیوار و لغزش برشی در پای دیوار رخ می‌دهد.



شکل ۵: انهدام برشی دیوارهای برشی (خیرالدین، امامی ۱۳۹۸).

### ۲-۷- خرابی کشش قطری

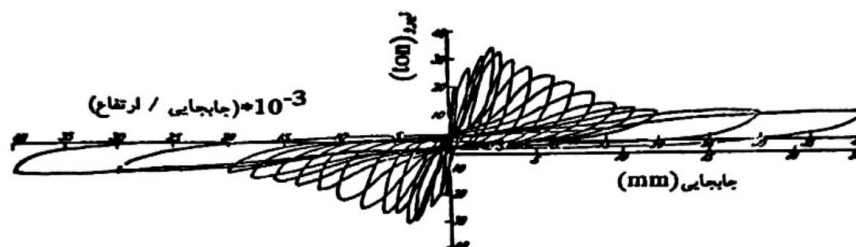
این خرابی زمانی اتفاق می‌افتد که فولادهای برشی یا افقی برای کنترل بازشدگی ترک در دیوار کافی نباشد. خرابی کشش قطری یک نوع خرابی نامطلوب برای دیوار است؛ زیرا باعث شکست فولادهای برشی و کاهش مقاومت و ایجاد سختی ترد در دیوار می‌شود.

### ۲-۸- خرابی فشاری قطری

هنگامی که در المان مرزی دیوار، میزان به کار رفتن فولاد برشی مناسب باشد، ابتدا ترک‌ها خمشی در ناحیه المان مرزی رخ می‌دهد و سپس این ترک‌ها در ناحیه جان دیوار ادامه پیدا می‌کند. بتن در ناحیه جان دیوار تحت فشارهای قطری، خرد شده که این خردشدگی باعث کاهش ناگهانی در مقاومت جانبی دیوار می‌شود.

### ۲-۹- خرابی لغزش برشی

در دیوارهای برشی طره‌ای شکل، این نوع خرابی در دو محل ممکن است پیش آید. یکی در محاذات درزهای افقی که خود تابع عوامل اجرایی عملیاتی است که در آماده ساختن فصل مشترک درز در بتن ریزی به عمل آمده است که اصطلاحاً درز سرد می‌نامند و دیگری در منطقه‌ی مفصل پلاستیک است که معمولاً بلافاصله در بالای شالوده قرار می‌گیرد (در ارتفاعی تقریباً برابر نصف طول دیوار برشی). احتمال لغزش برشی غالباً وقتی مطرح است که بارهای فشاری محوری حاصل از بار ثقلی روی دیوار کم باشد. مطالعه در مکانیزم لغزش برشی در حالت غیر الاستیک نشان می‌دهد که تحت اثر بارهای تکراری معکوس، مقاومت و سختی دیوار به طرز فاحشی افت می‌کند. منحنی هیسترسیس دیوار با گسیختگی برشی بسیار فشرده می‌باشد. (شکل ۶)

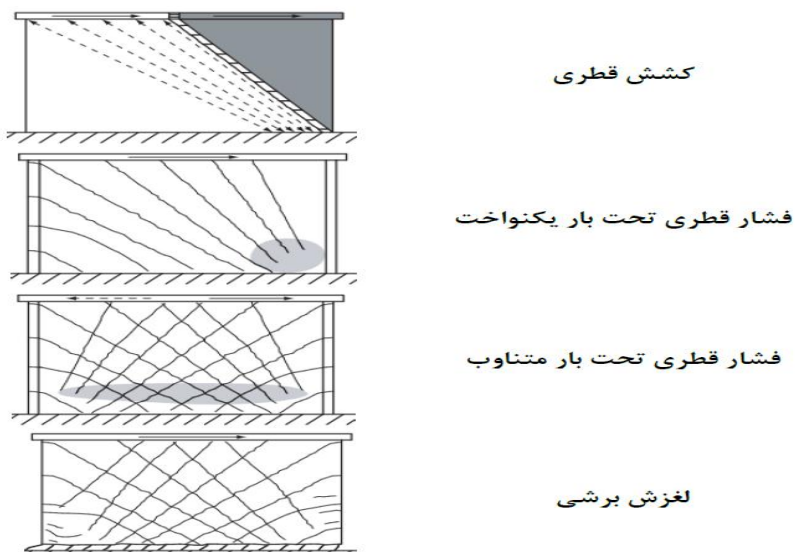


شکل ۶: منحنی هیسترسیس برای یک دیوار برشی با گسیختگی لغزش برشی (خیرالدین، امامی ۱۳۹۸).



شکل ۷. انهدام لغزشی دیوار برشی (خیرالدین، امامی ۱۳۹۸).

همچنین لغزش برشی معمولاً در دیوارهای کوتاه و در دیوارهای با بار محوری کم رخ می‌دهد. ذکر این نکته لازم است که لزوماً خرابی‌های برشی در دیوارهای کوتاه و خرابی‌های خمشی در دیوارهای برشی بلند رخ نمی‌دهند. در شکل زیر می‌توان انواع خرابی را در دیوار کوتاه و بلند مشاهده کرد.



شکل ۸: خرابی دیوارهای کوتاه. ( Moehle 2014 ).



شکل ۹: خرابی دیوارهای بلند (Paulay & Priestly 1992).



### ۳- مواد و روشها

#### ۳-۱- نرم افزار آباکوس

نرم افزار آباکوس قابلیت حل بسیاری از مسائل از یک تحلیل خطی ساده تا پیچیده ترین مدل سازی غیرخطی را دارد. این نرم افزار دارای مجموعه المان‌های بسیار گسترده ای است که می توانند هر نوع هندسه ای را مدل کنند. همچنین فراوانی مدل های رفتاری آن برای مدل سازی انواع مواد با خواص و رفتار گوناگون نظیر فلزها، لاستیک ها، پلیمرها، کامپوزیت ها، بتن مسلح، فوم های فبری یا شکننده و نیز انواع مصالح ژئوتکنیکی نظیر خاک و سنگ، امکانات زیادی را فراهم می سازد. آباکوس یک ابزار مدلسازی عمومی و گسترده است که استفاده از آن، تنها به تحلیل مسایل مکانیک جامدات یعنی "مسئله ی تنش کرنش" محدود نمی شود؛ با استفاده از این نرم افزار می توان مسایل مختلفی نظیر انتقال حرارت، نفوذ جرم، تحلیل حرارتی اجزای الکتریکی، آکوستیک، تراوش و پیژوالکتریک را مورد مطالعه قرار داد. کار با نرم افزار آباکوس با وجود برخورداری از قابلیت های بسیار گسترده، به نسبت ساده است و با کمک آن می توان پیچیده ترین مسایل را به آسانی مدل کرد. به عنوان مثال مسائلی را که بیش از یک جزء دارند می توان با ایجاد مدل هندسی هر جزء و سپس تعیین نسبت داده ی رفتار ماده ی مربوط به هر جزء و در نهایت مونتاژ اجزای مختلف مدل کرد. در اغلب مدلسازی ها حتی مدل هایی با درجه ی بالای غیرخطی کاربر باید تنها داده های مهندسی نظیر هندسه ی مسئله، رفتار ماده ی مربوط به آن، شرایط مرزی و بارگذاری آن مسئله را تعیین کند. آباکوس در یک تحلیل غیرخطی، به صورت خودکار میزان نمو بار را انتخاب و در طول تحلیل، مقادیر آنها را جهت دست یابی به یک پاسخ صحیح تعدیل می کند. در نتیجه به ندرت لازم است که مقادیر پارامترهای کنترلی حل عددی مسئله توسط کاربر تعیین شود.

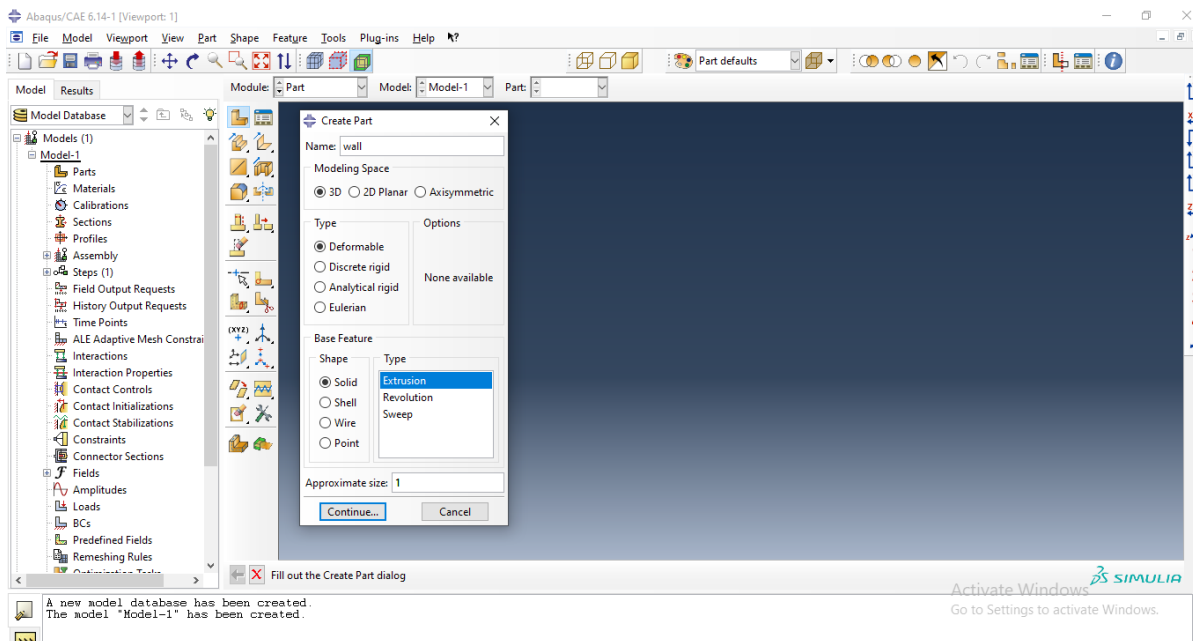
#### ۳-۲- تحلیل شبه استاتیکی به کمک تحلیل صریح

روش حل صریح، روش دینامیکی دقیقی است که برای مدلسازی ضربه های با سرعت بالا، ایجاد شده و در آن اینرسی نقش اساسی در حل مساله دارد. نیروهای غیرمتعادل برای رسیدن به حالت تعادل دینامیکی به صورت موج های تنش بین المان های مجاور پخش می شود. از آنجایی که نمو زمانی پایدار حداقل معمولاً بسیار کوچک است، اغلب مسائل نیازمند تعداد زیادی نمو هستند. روش حل صریح در حل مسائل بسیار کاراست و آباکوس انواع مشخصی از مسائل استاتیکی را ساده تر از آباکوس استاندارد حل می کند. یکی از مزایای تحلیل صریح نسبت به تحلیل ضمنی سهولت بیشتر آن در حل مجدد مسائل تماس پیچیده است. به علاوه وقتی که ابعاد مدل ها بزرگ تر باشد تحلیل صریح نسبت به تحلیل ضمنی نیاز به عملیات پردازش کمتری دارد. اعمال تحلیل دینامیکی صریح در مسائل شبه استاتیکی نیازمند فرضیات ویژه ای است. از آنجایی که حل استاتیکی طبق تعریف یک حل برای محاسبه پاسخ های دراز مدت است، در اغلب مواقع از نظر محاسباتی برای تحلیل مدل در مقیاس زمانی طبیعی آن کاربرد ندارد و نیازمند تعدادی نمو زمانی کوچک اضافی است. برای به دست آوردن حل اقتصادی لازم است تا زمان بارگذاری مساله به نحوی کوتاه شود. مشکلی که در آن اینجا ایجاد می شود این است که وقتی زمان کوتاه شود، حالت تعادل استاتیکی به حالت تعادل دینامیکی تبدیل می شود که در آن نیروهای اینرسی تعیین کننده تر هستند. در اینجا هدف این است که کوتاه ترین زمانی را که در آن نیروهای اینرسی هنوز قابل صرف نظر کردن هستند، به دست آورد.



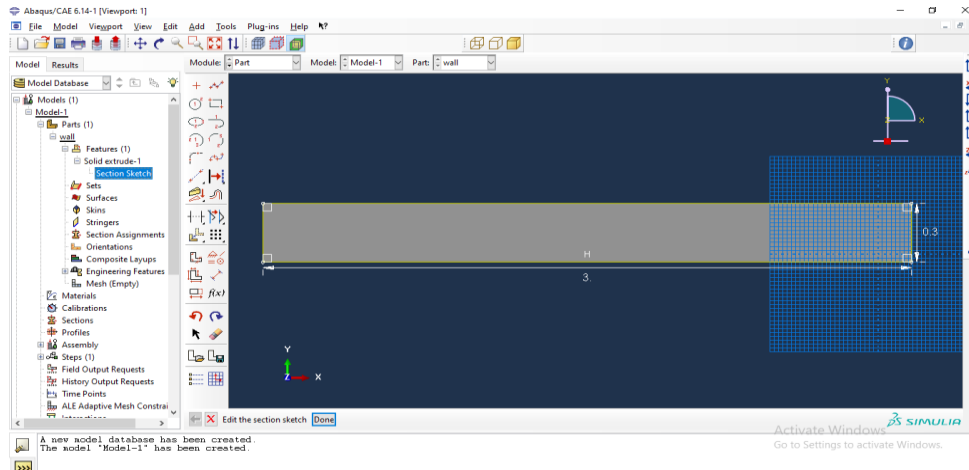
### ۳-۳- نحوه‌ی مدل‌سازی دیوار برشی بتنی در نرم افزار ABAQUS

ابتدا به ترسیم مقطع دیوار و میلگردهای طولی و عرضی با استفاده از ماژول Part می‌پردازیم. المان مورد نظر یک دیوار برشی بتنی دارای میلگردهای طولی (افقی) با طول مشخص و میلگردهای عرضی (قائم) با عرض مشخص می‌باشد که در منوی Part ترسیم می‌شود. با کلیک بر روی ماژول Part از ما عملکرد رفتار المان مورد نظر را می‌خواهد تا مدل رفتاری مشخص آن را بهش اختصاص بدهیم. ما از دیوار برشی بتنی مورد نظر تغییر شکل درون صفحه و تغییر شکل برون صفحه را می‌خواهیم پس باید المانی را انتخاب کنیم که این دو تغییر شکل را به ما نشان دهد که از بین المان‌های پایین، المان Solid را انتخاب می‌کنیم. همچنین در آباکوس واحد نداریم پس قبل شروع به کار واحد می‌دهیم.

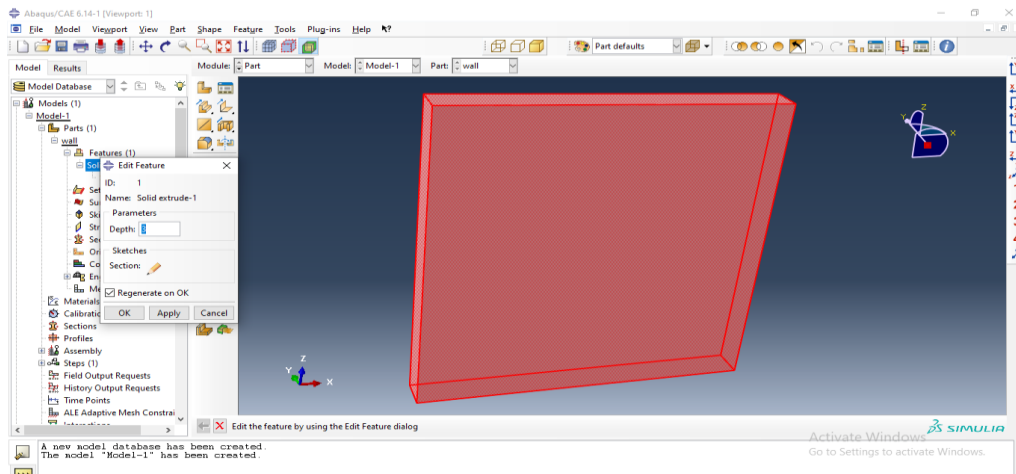


شکل ۱۰: تعریف اجزا محدود دیوار برشی به صورت یک المان Solid.

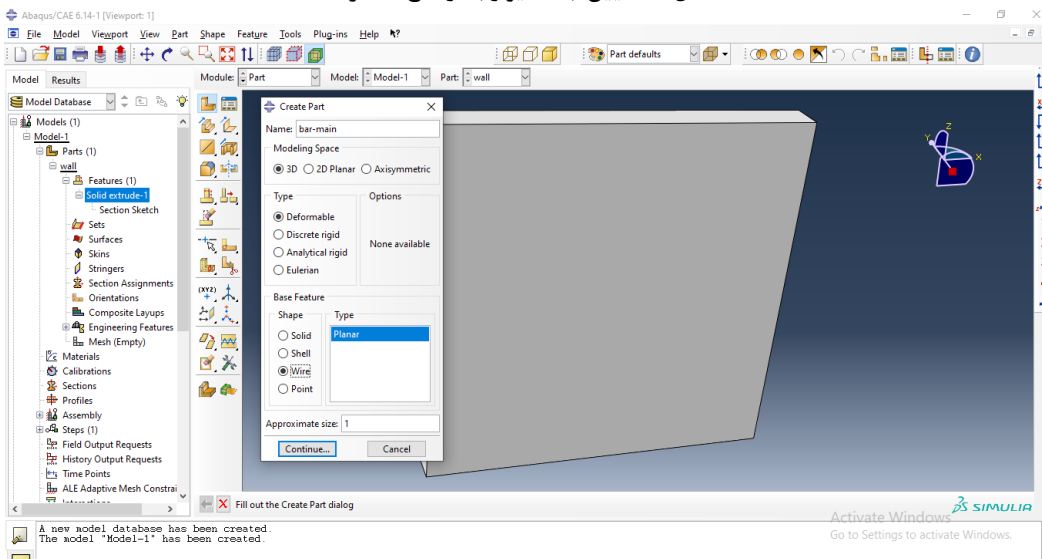
- ۱- المان Solid: المان آجری است که در هر گروه ۳ درجه آزادی انتقالی دارد و درجه آزادی دورانی را نمی‌شناسد.
  - ۲- المان Shell: المان صفحه‌ای-المان پوسته‌ای است در هر گروه ۶ درجه آزادی دارد که ۳ درجه آزادی آن انتقالی و ۳ درجه آزادی آن دورانی می‌باشد.
  - ۳- المان Wire: المان میله‌ای که با المان bin خمشی در هر گروه ۲ درجه آزادی، ۱ درجه آزادی و ۱ درجه دورانی و با المان tras محوری در هر گروه ۱ درجه آزادی انتقالی دارد.
  - ۴- المان Point: المان نقطه‌ای می‌باشد.
- در عمران بیشتر از المان‌های solid، shell و wire استفاده می‌شود. برای شروع از المان solid انتخاب می‌کنیم. در آباکوس واحد نداریم پس قبل شروع به کار واحد می‌دهیم. بعد از استفاده از المان solid از ما نوع ترسیم Extrude می‌خواهد که جهت ترسیم وارد فضای Sketch می‌شویم که همانند فضای AutoCAD می‌باشد. سپس ابعاد دیوار و ضخامت آن را رسم می‌کنیم.



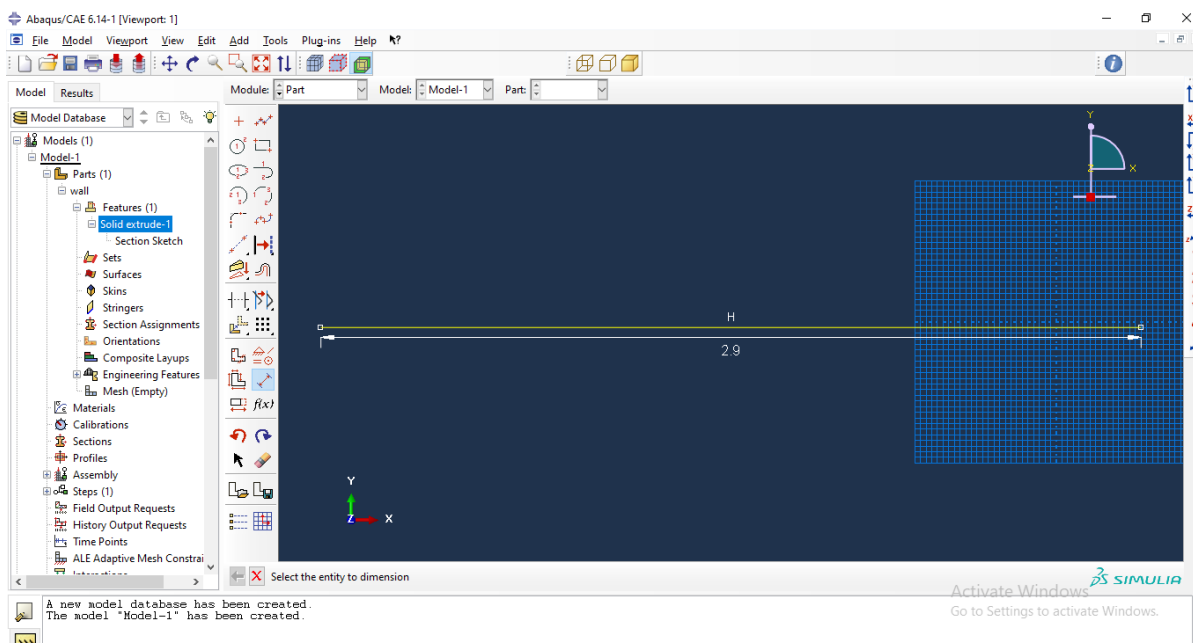
شکل ۱۱: تعیین ابعاد دیوار به طول ۳ متر و ضخامت ۰.۳ سانتی متر.



شکل ۱۲: تعیین ابعاد دیوار به ارتفاع ۰.۳ متر.



شکل ۱۳: تعریف اجزای محدود میلگرد طولی و یا عرضی دیوار برشی به صورت یک المان Wire.



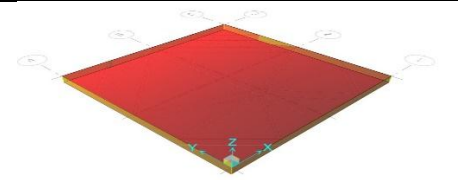
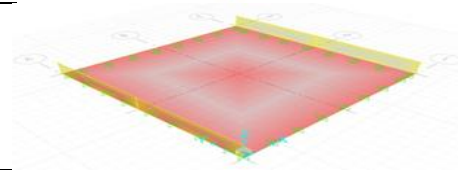
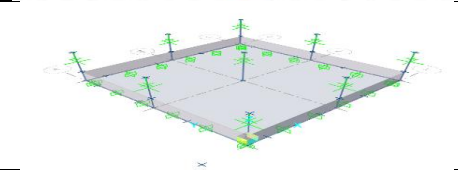
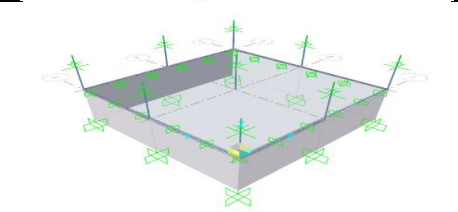
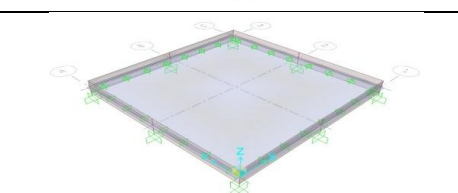
شکل ۱۴: تعیین میلگرد طولی یا عرضی دیوار به طول به ارتفاع ۳ متر.

#### ۴- تجزیه و تحلیل داده ها

در بخش اول به مدلسازی دیوار برشی در نرم افزار SAFE پرداخته می شود. همانطور که گفته شد نرم افزار SAFE نرم افزار تحلیل و طراحی فونداسیون و دال می باشد. در این تحقیق ابتدا یک سازه ۷ طبقه واقع در شهرستان گنبد با ابعاد ۱۰\*۱۰ متر طراحی شده و بعد از طراحی بارهای وارده از ETABS وارد SAFE شده و سپس بر طبق اهداف تحقیق یک بار فونداسیون بدون دیوار برشی به ضخامت‌های ۰،۵ و ۱ و ۱،۵ متر طراحی و تحلیل شد و بار دوم دیوار برشی به ضخامت‌های ۰،۲، ۳۰ و ۴۰ سانتی متر و ارتفاع ۱، ۲، ۳ و ۴ متر بالای فونداسیون به ضخامت‌های ۰،۵ و ۱ و ۱،۵ متر و در نهایت دیوار برشی به ضخامت‌های ۰،۲، ۳۰ و ۴۰ سانتی متر و ارتفاع ۱، ۲، ۳ و ۴ متر پایین فونداسیون به ضخامت‌های ۰،۵ و ۱ و ۱،۵ متر و در نهایت همان شرایط برای دیوار قرار گرفته در بالا و پایین فونداسیون تحلیل و طراحی شدند و نتایج آن از نظر مصرف میلگرد، تنش و نشست فونداسیون بررسی و مقایسه شدند.



جدول ۱: مشخصات مدل‌های بررسی شده

	N	بدون دیوار
	WUy	دیوار بالا فقط در جهت y
	WUxy	دیوار دورتادور بالا
	WBxy	دیوار دورتادور پایین
	WUBxy	دیوار دورتادور بالا و پایین

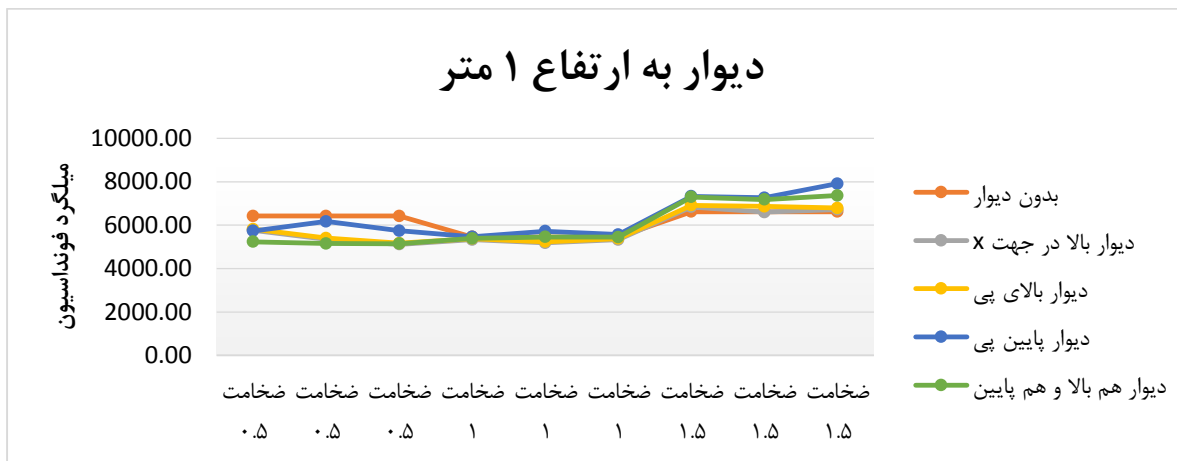
ابتدا به بررسی اثر قرارگیری دیوار برشی بر مصرف میلگرد پرداخته شد و نتایج در حالات مختلف با هم مقایسه شد. در ادامه نتایج برای دیوار برشی به ارتفاع ۱ متر در جدول ذیل ذکر شده است.

جدول ۲: وزن میلگرد مصرفی فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۱ متر

	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵
مقایسه دیوار ارتفاع ۱ متر	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰
بدون دیوار	6419.75	6419.75	6419.75	5456.79	5456.79	5456.79	6617.28	6617.28	6617.28
دیوار بالا در جهت x	5761.56	5350.89	5116.22	5328.89	5182.22	5328.89	6844.44	6595.56	6722.22
دیوار بالای بی	5819.75	5404.94	5167.90	5382.72	5234.57	5382.72	6913.58	6864.20	6790.12
دیوار پایین بی	5733.33	6173.35	5743.27	5460.56	5720.93	5563.47	7331.56	7262.72	7910.31
دیوار هم بالا و هم پایین	5237.04	5153.40	5148.50	5391.98	5456.79	5446.91	7296.30	7181.07	7367.71



همانطور که از جدول مشخص است برای تک تک حالات مقدار میلگرد به دست آمد. حال نتایج با توجه به نمودارهای بدست آمده قابل بررسی می‌باشد. با بررسی نمودارهای بدست آمده برای دیوار برشی به طول ۱ متر مشخص است که برای دیوار برشی زیر فونداسیون مصرف میلگرد به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. حال به صورت کلی این حالات با هم بررسی می‌کنیم.



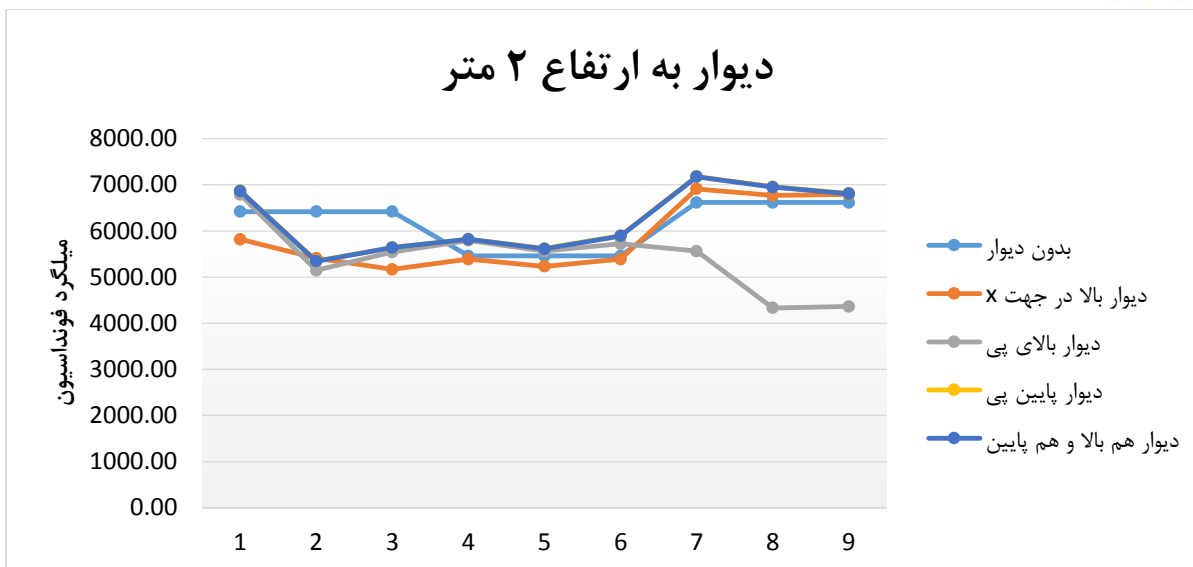
شکل ۱۵: نمودار میلگردهای مصرفی فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۱ متر

در نمودار هم قابل مشاهده است با افزایش ضخامت فونداسیون و در حالتی که دیوار پایین فونداسیون قرارداد نسبتاً مصرف میلگرد افزایش می‌یابد. در ادامه نتایج برای دیوارهای ارتفاع ۲ متر بررسی می‌شود:

جدول ۳: وزن میلگرد مصرفی فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۲ متر

	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵
مقایسه دیوار ارتفاع ۲ متر	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰
بدون دیوار	6419.75	6419.75	6419.75	5456.79	5456.79	5456.79	6617.28	6617.28	6617.28
دیوار بالا در جهت X	5819.17	5409.75	5167.38	5387.51	5234.04	5387.51	6912.89	6768.11	6789.44
دیوار بالای پی	6790.12	5145.68	5540.60	5794.73	5563.47	5720.93	5563.47	4331.56	4362.72
دیوار پایین پی	6871.60	5350.12	5643.70	5823.46	5616.05	5896.30	7181.48	6956.79	6814.81
دیوار هم بالا و هم پایین	6864.73	5344.77	5638.06	5817.63	5610.43	5890.40	7174.30	6949.83	6808.00

نتایج برای دیوار برشی به ارتفاع دو متر هم مانند نتایج قبل نشان می‌دهد با قرار گیری دیوار برشی در پایین فونداسیون مصرف میلگرد افزایش می‌یابد.

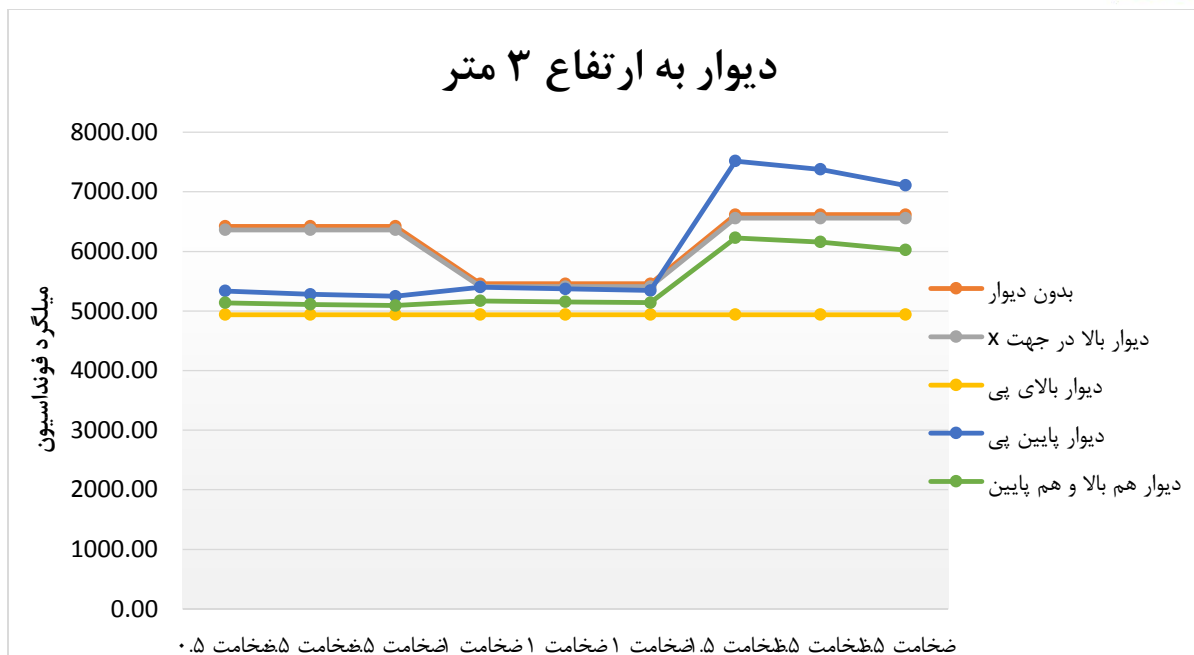


شکل ۱۶: نمودار میلگردهای مصرفی فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۲ متر.

و در نهایت برای دیوار برشی به طول ۳ متر نتایج به صورت زیر می باشد:

جدول ۴: وزن میلگرد مصرفی فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۳ متر

	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵
مقایسه دیوار ارتفاع ۳ متر	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰
بدون دیوار	6419.75	6419.75	6419.75	5456.79	5456.79	5456.79	6617.28	6617.28	6617.28
دیوار بالا در جهت X	6361.98	6361.98	6361.98	5407.68	5407.68	5407.68	6557.73	6557.73	6557.73
دیوار بالای پی	4938.27	4938.27	4938.27	4938.27	4938.27	4938.27	4938.27	4938.27	4938.27
دیوار پایین پی	5335.80	5280.49	5246.42	5400.00	5370.37	5343.21	7516.05	7375.31	7108.64
دیوار هم بالا و هم پایین	5137.04	5109.38	5092.35	5169.14	5154.32	5140.74	6227.16	6156.79	6023.46



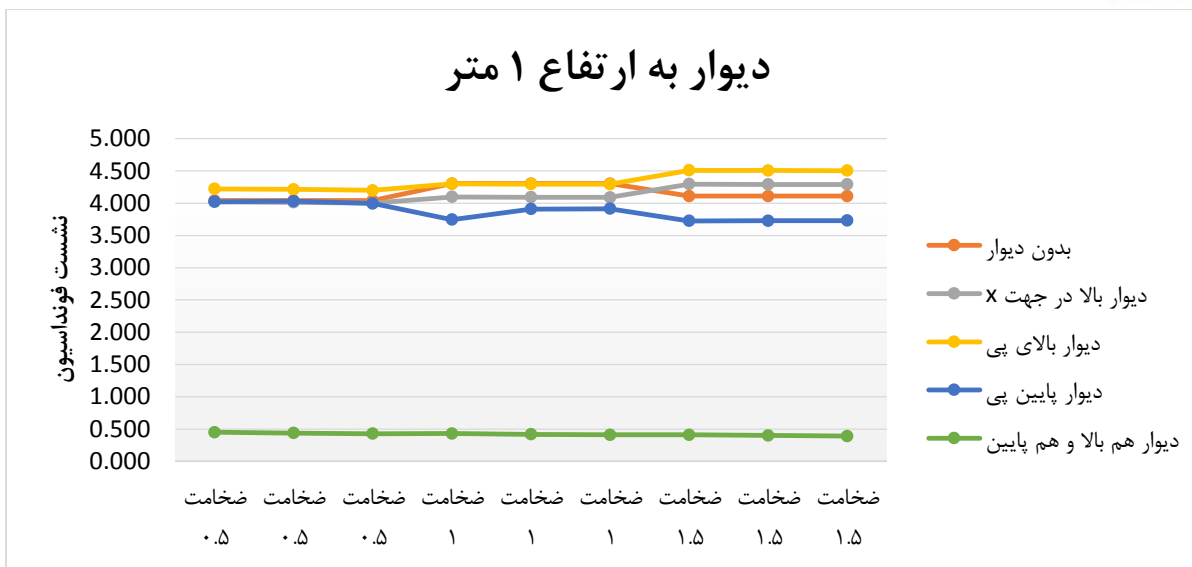
شکل ۱۷: نمودار میلگردهای مصرفی فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۳ متر.

در دیوار به ارتفاع ۳ متر قابل مشاهده است که مصرف میلگرد در موقعیت دیوار بالای فونداسیون ثابت مانده و نرم افزار به غیر از میلگردهای اصلی که میلگرد ۲۰ به فاصله ۲۰ سانتی متر برای دیوار در نظر گرفته شده بود میلگرد تقویتی اضافه ای را نشان نداد. همچنین قابل مشاهده است که وقتی دیوار پایین فونداسیون قرار می گیرد مصرف میلگرد مانند حالت قبل افزایش می یابد. در گام بعدی نتایج برای نشست فونداسیون برای دیوار به ارتفاع ۱ متر بررسی و مقایسه شد و نتایج طبق جدول زیر بدست آمد :

جدول ۵: مقدار نشست فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۱ متر

	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵
مقایسه دیوار ارتفاع ۱ متر	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰
بدون دیوار	4.040	4.040	4.040	4.303	4.303	4.303	4.109	4.109	4.109
دیوار بالا در جهت X	4.020	4.013	4.000	4.097	4.092	4.089	4.295	4.292	4.290
دیوار بالای پی	4.221	4.214	4.200	4.302	4.297	4.293	4.510	4.507	4.505
دیوار پایین پی	4.023	4.030	3.996	3.746	3.910	3.913	3.725	3.728	3.730
دیوار هم بالا و هم پایین	0.450	0.438	0.428	0.430	0.419	0.409	0.410	0.399	0.390

از نتایج بدست آمده مشخص است در حالی که دیوار برشی در پایین فونداسیون قرار دارد نشست فونداسیون نسبت در حالی که دیوار برشی بالای فونداسیون قرار دارد کمتر می باشد. همچنین قابل مشاهده است که با قرارگیری دیوار برشی در بالای فونداسیون نشست به حالت فونداسیون بدون دیوار برشی افزایش می یابد که این را می توان به دلیل وزن دیوار و فشار اضافه که به دیوار وارد می کند که حکم سربار را برای دیوار برشی دارد ، دانست.



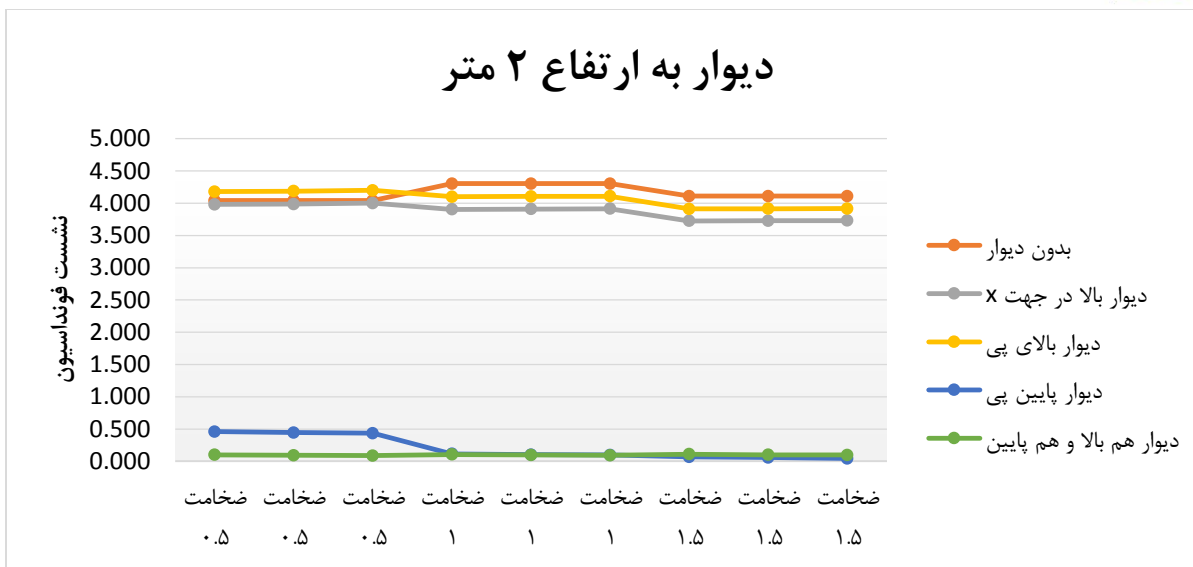
شکل ۱۸: نمودار نشست فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۱ متر.

لازم به ذکر است که نشست فونداسیون وقتی دیوار در بالا و پایین فونداسیون قرار دارد به شکر قابل توجهی کاهش پیدا می کند. می توان نتایج را برای دیوار برشی به ارتفاع ۲ متر نیز مشاهده کرد :

جدول ۶: مقدار نشست فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۲ متر.

	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵
مقایسه دیوار ارتفاع ۲ متر	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰
بدون دیوار	4.040	4.040	4.040	4.303	4.303	4.303	4.109	4.109	4.109
دیوار بالا در جهت X	3.980	3.987	4.000	3.905	3.910	3.913	3.725	3.728	3.730
دیوار بالای پی	4.179	4.186	4.200	4.100	4.105	4.108	3.911	3.914	3.916
دیوار پایین پی	0.461	0.446	0.434	0.115	0.104	0.097	0.067	0.058	0.044
دیوار هم بالا و هم پایین	0.100	0.093	0.088	0.105	0.098	0.093	0.109	0.101	0.096

در دیوار برشی به ارتفاع ۲ متر قابل مشاهده است که نتایج نشست در موقعیت قرار گیری دیوار در بالا و پایین فونداسیون و قرار گیری دیوار در پایین فونداسیون به هم نزدیک شده است.

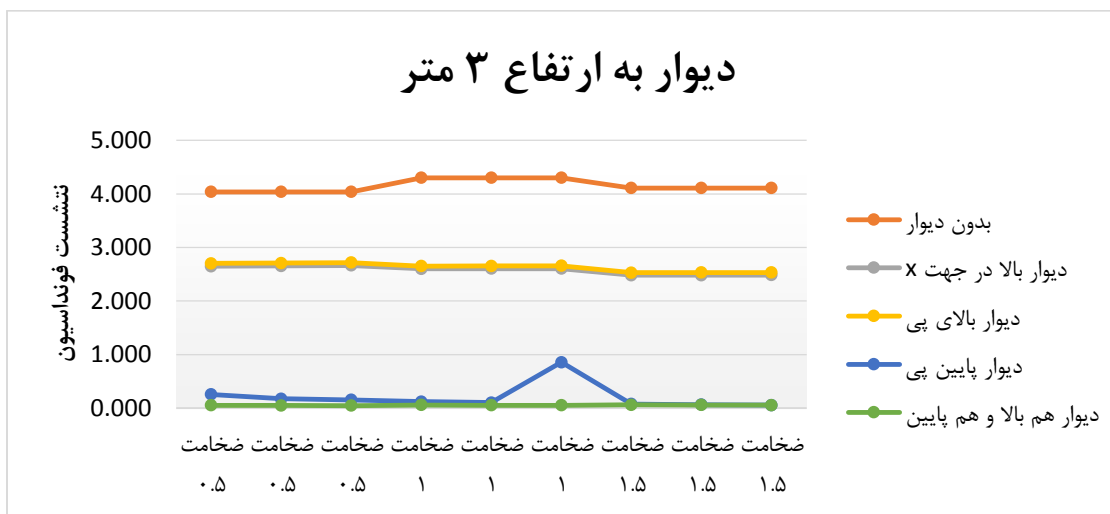


شکل ۱۹: نمودار نشست فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۲ متر.

در ادامه نتایج برای دیوار به ارتفاع ۳ متر بررسی می شود :

جدول ۷: مقدار نشست فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۳ متر.

	عمق ۰,۵	عمق ۰,۵	عمق ۰,۵	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱,۵	عمق ۱,۵	عمق ۱,۵
مقایسه دیوار ارتفاع ۳ متر	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰
بدون دیوار	4.040	4.040	4.040	4.303	4.303	4.303	4.109	4.109	4.109
دیوار بالا در جهت X	2.650	2.655	2.663	2.600	2.603	2.605	2.480	2.482	2.483
دیوار بالای پی	2.703	2.708	2.716	2.652	2.655	2.657	2.530	2.532	2.533
دیوار پایین پی	0.254	0.175	0.153	0.122	0.103	0.855	0.075	0.064	0.054
دیوار هم بالا و هم پایین	0.051	0.047	0.045	0.057	0.053	0.050	0.062	0.058	0.055



شکل ۲۰: نمودار نشست فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۳ متر.

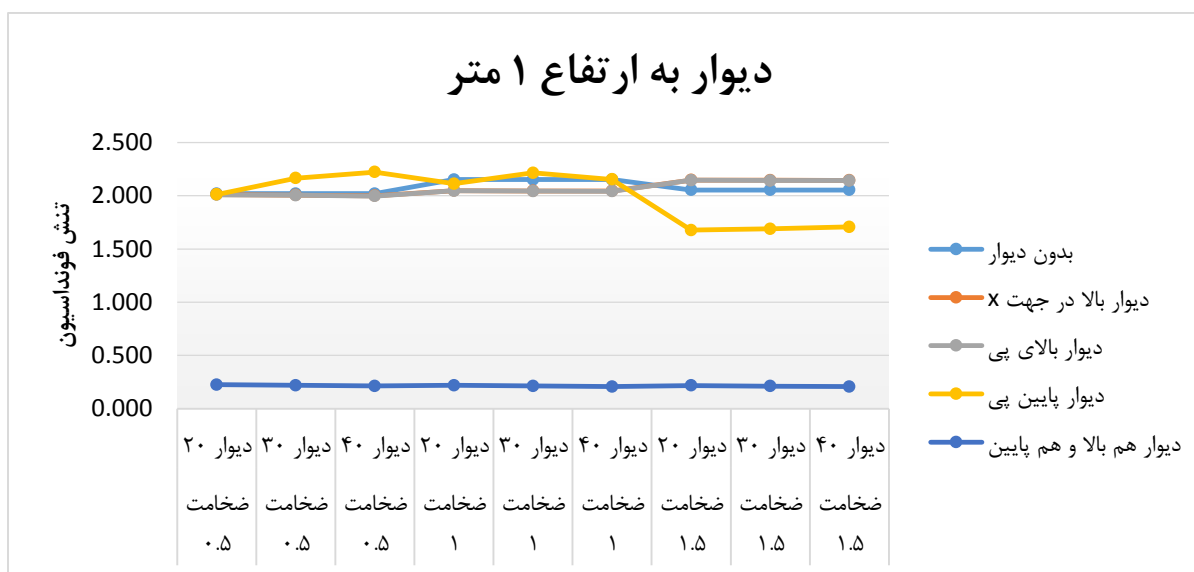


لازم به ذکر است از مقایسه اعداد نشست بدست آمده برای ارتفاع دیوار مشخص است با افزایش ارتفاع دیوار در پایین فونداسیون نشست به طور قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند. در نهایت به بررسی اثر دیوار به تنش فونداسیون پرداخته می‌شود:

جدول ۸: بررسی تنش فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۱ متر.

	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵
مقایسه دیوار ارتفاع ۱ متر	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰
بدون دیوار	2.020	2.020	2.020	2.152	2.152	2.152	2.055	2.055	2.055
دیوار بالا در جهت X	2.012	2.007	2.000	2.049	2.046	2.045	2.148	2.146	2.145
دیوار بالای پی	2.010	2.005	1.998	2.047	2.044	2.043	2.146	2.144	2.143
دیوار پایین پی	2.012	2.166	2.223	2.114	2.215	2.154	1.677	1.689	1.707
دیوار هم بالا و هم پایین	0.225	0.219	0.214	0.219	0.213	0.208	0.218	0.212	0.207

برای دیوار به ارتفاع ۱ متر نتایج نشان می‌دهد که تنش فونداسیون در دیوار بالا فونداسیون و دیوار پایین فونداسیون نزدیک به هم می‌باشد ولی وقتی دیوار هم در بالا و هم در پایین فونداسیون قرار داشته باشد تنش فونداسیون کاهش می‌یابد.



شکل ۲۱: نمودار تنش فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۱ متر.

در ادامه برای دیوار ۲ متری بررسی می‌شود:



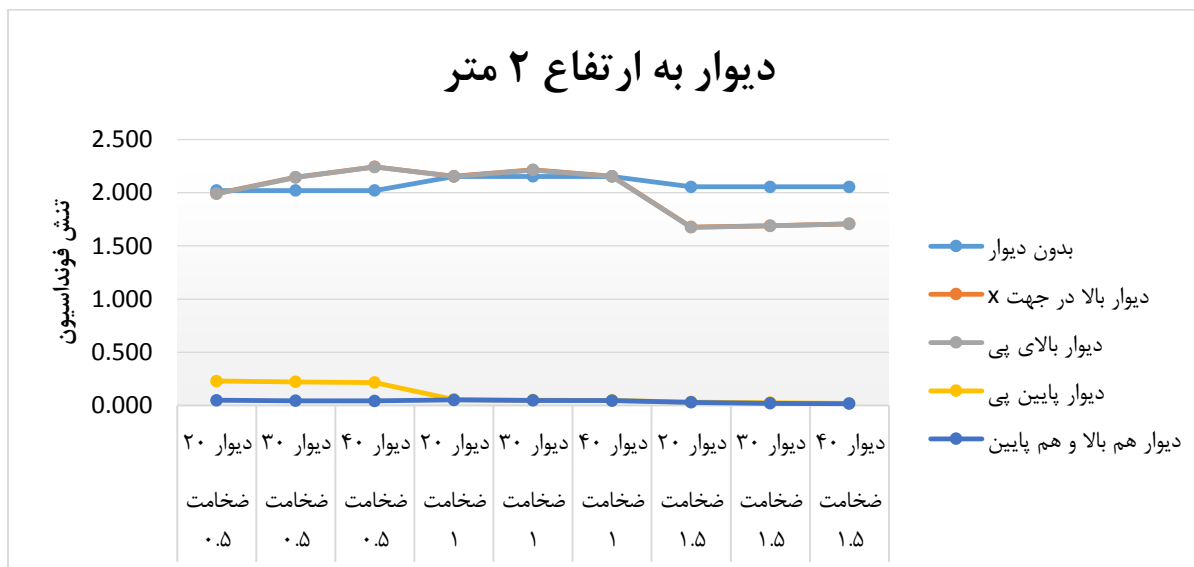
جدول ۹: بررسی تنش فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۲ متر

	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵
مقایسه دیوار ارتفاع ۲ متر	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰
بدون دیوار	2.020	2.020	2.020	2.152	2.152	2.152	2.055	2.055	2.055
دیوار بالا در جهت X	1.992	2.145	2.243	2.154	2.215	2.154	1.677	1.689	1.707
دیوار بالای پی	1.990	2.143	2.241	2.152	2.213	2.152	1.675	1.687	1.706
دیوار پایین پی	0.230	0.223	0.217	0.057	0.052	0.048	0.034	0.027	0.020
دیوار هم بالا و هم پایین	0.050	0.046	0.044	0.053	0.049	0.047	0.031	0.022	0.018

برای دیوار برشی به ارتفاع ۲ متر تنش فونداسیون در حالت دیوار پایین فونداسیون به شدت کاهش می‌یابد. نکته قابل توجه اینجاست با قرار گیری دیوار بالای فونداسیون تنش فونداسیون افزایش یافته ولی وقتی دیوار پایین فونداسیون قرار گرفته تنش فونداسیون به شکل قابل توجهی کاهش می‌یابد. در نهایت به بررسی دیوار ارتفاع ۳ متری پرداخته شد :

جدول ۱۰: بررسی تنش فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۳ متر

	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۰.۵	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵	عمق ۱.۵
مقایسه دیوار ارتفاع ۳ متر	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰	دیوار ۲۰	دیوار ۳۰	دیوار ۴۰
بدون دیوار	2.020	2.020	2.020	2.152	2.152	2.152	2.055	2.055	2.055
دیوار بالا در جهت X	1.326	1.428	1.493	1.434	1.474	1.434	1.116	1.124	1.137
دیوار بالای پی	1.286	1.385	1.448	1.391	1.430	1.391	1.083	1.091	1.102
دیوار پایین پی	0.207	0.201	0.195	0.051	0.047	0.043	0.031	0.024	0.018
دیوار هم بالا و هم پایین	0.033	0.030	0.029	0.034	0.032	0.030	0.020	0.014	0.012



شکل ۲۲: نمودار تنش فونداسیون در صورت حضور دیوار به ارتفاع ۲ متر.



## ۵- نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی اثر دیوار برشی روی فونداسیون و اثر دیوار برشی زیر فونداسیون پرداخته شد. به طور کلی با بررسی نتایج در مدل‌هایی که دیوار برشی روی فونداسیون قرار داشت، نقش دیوار برشی در نشست پی بی‌تاثیر بود و حتی به دلیل بار دیوارهای روی فونداسیون می‌تواند اثر منفی روی نشست فونداسیون داشته باشد، به هر حال در این تحقیق چون اثر وزنی دیوارها در فونداسیون به دلیل ابعاد در نظر گرفته شده زیاد نبود، اثر منفی آن روی نشست پی مشهود نبود. دیوارهایی که بالای پی هستند، عملکرد کمک به نشست پی را ندارند. از طرفی چون در زلزله نیروی‌های زلزله را جذب می‌کنند باعث کم شدن نیروی برشی پانچ می‌شوند و نیروی برشی پی افزایش می‌یابد. به همین دلیل ظرفیت پی و تنش پی افزایش می‌یابد. دیوارهایی که زیر فونداسیون هستند تاثیری روی مقاومت پی ندارند. چون این دیوارهای زیر تراز فونداسیون هستند و نیروی زلزله را جذب نمی‌کنند. به همین دلیل روی شکل‌پذیری و ظرفیت پی تاثیر ندارد. با توجه به نتایج تاثیر بسزایی در نشست زیر پی دارند. با توجه به میزان مصرف میلگرد در فونداسیون‌ها، در دیوارهای زیر فونداسیون نسبت به دیوارهای روی فونداسیون مصرف میلگرد بیشتر شد. در جمع بندی کلی با در نظر گرفتن نقش بسزای دیوار برشی زیر فونداسیون در نشست زیر فونداسیون و همچنین مصرف بیشتر میلگرد، باید توجه شود که در انتخاب مالک سازه مصرف بیشتر میلگرد از نظر اقتصادی قابل توجیه است یا خیر. برای بررسی‌های بیشتر نتایج در ادامه این تحقیق پیشنهاد می‌شود که:

الف- قرار گیری موقعیت دیوار برشی می‌تواند در سازه‌های بلند مرتبه نیز کنترل شود.

ب- همچنین می‌تواند برای فونداسیون نواری نیز کنترل شود.

و در ادامه می‌تواند برای سازه‌های فلزی کنترل و بررسی شود.

## ۶- مراجع

- ۱- تسنیمی، ع. (۱۳۸۸) رفتار و طرح لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح. (چاپ سوم). تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- ۲- خیرالدین، ع.، امامی، ا.، ۱۳۹۸، دیوارهای برشی بر اساس آیین نامه بتن آمریکا (ACI 318-2014) و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (سال ۱۳۹۲) چاپ دوم. سمنان: انتشارات دانشگاه سمنان.
- ۳- شفیعیان، م. (۱۳۹۵) تحلیل آماری نتایج آزمایشگاهی برای تعیین سختی موثر دیوارهای برشی بتنی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه قم.
- ۴- خیرالدین، ع.، ۱۳۸۵، آنالیز و طراحی دیوار برشی. (چاپ اول) سمنان: انتشارات دانشگاه سمنان.
- ۵- ناطق الهی، ف.، حسینی واعظ، س. م.، ۱۳۹۰، بررسی تاثیر سختی دیوارهای برشی در صلبیت دیافراگم‌های ساختمان‌های بتنی چندطبقه تحت بارگذاری لرزه‌ای، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، اردیبهشت ۱۳۹۰.
- ۶- غنی زاده، م.، فرزام، م.، سروقدم، ع.، ۱۳۹۵، بررسی پارامترهای تاثیر گذار بر عملکرد دیوارهای برشی کوتاه بتن آرمه با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه، مجله علمی پژوهشی مهندسی عمران مدرس، دوره هفدهم، شماره سه.
- ۷- صفاری، ح.، رهگذر، ر.، شیری، ی.، ۱۳۸۷، تعیین مناسب‌ترین شکل دیواربرشی در سازه‌های قاب دیوار-مقارن جهت کاهش تغییرشکل‌های سازه‌های بلند. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.
- ۸- ساعدی داریان، ا.، بهرامپور، ح.، عرب‌زاده، ح.، ۱۳۹۰، راهنمای جامع نرم‌افزار ABAQUS. (چاپ اول) تهران: انتشارات انگیزه.
- ۹- شلیلیان، ر.، ۱۳۹۶، آموزش گام‌به‌گام ABAQUS. (چاپ اول) تهران: انتشارات خلیج فارس.
- ۱۰- ضیایی، م.، پیغاله، ا.، ۱۳۸۸، راهنمای مدل‌سازی با نرم‌افزار ABAQUS. (چاپ دوم) تهران: انتشارات پندار پارس.

11-Elnshai, A. S., & Di Sarno, L. (2008). *Fundamentals of Earthquake Engineering*. Wiley Chichester, Uk.



- 12-Paulary, T., & Priestly, M. J. N. (1992). ). Seismic Design Of Reinforced Concrete And Masonary Buildings, Paulary And Priestly. New York: Wiley Online Library.
- 13-Mohel, J. (2014). Seismic Design of Reinforced Concrete Builddings. Mcgraw Hill professional.
- 14-Gulec, C. K., & Whittaker, A. S. (2009). Performance-Based Assessment and Design of Squat Reinforced Concrete Shear Walls. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Reserch MCEER.
- 15- Tang, y., Zhang, j., 2011, Probabilistic seismic demand analysis of a slender RC shear wall considering soil–structure interaction effects, journal of Engineering structures, 33(1), 218\_229
- 16- Marzban, S., Banazadeh, M., Azarbakht, A., 2012, Seismic performance of reinforced concrete shear wall frames considering soil–foundation–structure interaction, Journal of Tall and special buildings, 23(4), 302\_318
- 17- Barros, R. C., Khatami, S. M., 2012, Seismic Response Effect of Shear Walls in Reducing Pounding Risk of Reinforced Concrete Buildings Subjected to Near-Fault Ground Motions, 15<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering 2012.
- 18- Burak, B., & Comlekoglu, H. G. (2013). Effect of shear wall area to floor area ratio on the seismic behavior of reinforced concrete buildings. Journal of Structural Engineering, 139(11), 1928-1937.
- 19- Chinmayi, H. K., Jayalekshmi, B. R., 2013, effect of soil-flexibility on lateral natural period in RC framed buildings with shear wall, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2(6).