

ارزیابی آسیب پذیری لرزه‌ای دیوارهای حایل بنایی غیر وزنی

* حسن قاسم‌زاده، حسین علی نوری:

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

پذیرش ۹۱/۲/۱۱

تاریخ: دریافت ۹۰/۸/۱

چکیده

در این مقاله با استفاده از روش مونونوبه و اکابه در مورد یک دیوار حایل بنایی غیروزنی محاط در یک قاب ساختمانی (میان‌قاب)، به محاسبه نیروهای دینامیکی ناشی از زلزله و اثرات آن بر دیوار پرداخته شده است. در روش مونونوبه و اکابه دیوار حایل صلب فرض شده و معمولاً لغزش پای دیوار و یا چرخش دیوار حایل حول پاشنه آن بررسی می‌شود. وضعیت غالب خرابی در یک میان‌قاب حایل بنایی غیروزنی، شکست در بدنه دیوار تحت نیروهای عمود بر صفحه است. در چنین حالتی توزیع نیروی لرزه‌ای وارده بر دیوار اهمیت می‌یابد. در این مقاله برای محاسبه نیروهای لرزه‌ای وارد بر میان‌قاب حایل بنایی از روش مونونوبه و اکابه استفاده شده و یک توزیع برای آن پیشنهاد شده است. با بررسی عمل‌کرد عمود بر صفحه میان‌قاب‌های بنایی به لحاظ مقاومت و معیار پذیرش، به تحلیل نحوه خرابی در بدنه دیوار ناشی از بارهای عمود بر صفحه پرداخته شده است. در ادامه روش به‌سازی لرزه‌ای مورد نظر در خصوص میان‌قاب‌های حایل بنایی آسیب‌پذیر ارایه شده و با معرفی یک مثال کاربردی، نتایج روش پیشنهادی با نتایج یک نرم‌افزار عددی کنترل شده است. در انتها نیز برای میان‌قاب‌های حایل بنایی مختلف، راه‌کار به‌سازی لرزه‌ای به‌صورت کاربردی ارایه شده است.

واژه‌های کلیدی: میان‌قاب حایل بنایی، روش مونونوبه و اکابه، بتن‌پاشی، به‌سازی لرزه‌ای، توزیع نیروی لرزه‌ای

Ghasemzadeh@kntu.ac.ir

* نویسنده مسئول

مقدمه

موارد متعددی از مسائل مهندسی ژئوتکنیک از قبیل پایداری دیوارهای حایل، سپرهای محافظ، تونل‌ها، آبراهه‌ها، سدهای خاکی، ترانشه‌ها و... در ارتباط مستقیم با رانش خاک قرار دارند. در بسیاری موارد، فشار خاک به صورت استاتیکی معین نبوده و مقدار ثابت و مشخص نخواهد داشت. این امر به دلیل وابستگی رانش خاک به جنس مصالح و نیز عکس‌العمل ما بین خاک و سازه، گاهی اوقات از پیچیدگی خاصی برخوردار است. در واقع فشار خاک تابعی از تغییر شکل‌های بوقوع پیوسته در سازه‌های مرتبط با خاک است. تئوری‌های کلاسیک رانش خاک توسط کولمب و رانکین پیشنهاد شده است. در حالت بارگذاری دینامیکی تئوری کولمب توسط تحقیقات مونونوبه و اکابه توسعه یافته است و معادلات تعادل برای نیروهای دینامیکی وارده استخراج شده است [1]. بررسی‌ها و تحقیقات سال‌های اخیر نشان می‌دهد که روش مونونوبه و اکابه در مورد زلزله‌های با شدت کم دارای دقت قابل قبولی است و به همین علت پایه بسیاری از روش‌ها و تحقیقات انجام شده در این مورد است. فرض اساسی در روش مونونوبه و اکابه آن است که تغییر شکل‌ها در سازه دیوار حایل ناچیز بوده و می‌توان آن را صلب فرض کرد. در چنین شرایطی توزیع نیروهای لرزه‌ای وارد بر دیوار اهمیت نداشته و فقط مقدار و محل اثر آن مهم است. در چنین شرایطی شکست دیوار معمولاً ناشی از لغزش دیوار و یا چرخش آن حول پاشنه است. در حالی که در یک میان‌قاب حایل بنایی غیروزنی که در راستای عمود بر صفحه صلب نیست، وضعیت غالب خرابی، شکست در بدنه دیوار است [۲]. وضعیت دیوارهای حایل بنایی غیروزنی، در دیوارهای اطراف طبقه زیرزمین ساختمان‌های متداول بسیار دیده می‌شود. در اکثر این ساختمان‌ها دیوار بنایی در یک قاب بتنی یا فولادی محاط است. در چنین حالاتی توزیع نیروی دینامیکی وارده بر روی سطح دیوار اهمیت زیادی در نحوه خرابی دیوار بنایی دارد.

در گذشته بسیاری از محققان تلاش خود را بر یافتن توزیع نیروی لرزه‌ای وارد بر دیوارهای حایل معطوف داشته‌اند. به‌عنوان نمونه می‌توان به تحقیقات سید و ویتمن در سال

۱۹۷۰ اشاره کرد که آن‌ها توزیع یک‌نواختی را برای اضافه بار ناشی از زلزله به صورت رابطه (۱) پیشنهاد دادند [۳].

$$P_E = \frac{3 a_{\max}}{8} \gamma H \quad (1)$$

این رابطه به مرور اصلاح گردید. صورت دیگری از این رابطه بعدها در فصل چهارم استاندارد ASCE/SEI41-06 [۴] نیز به عنوان اضافه فشار ناشی از زلزله بر بدنه دیوارهای حایل ارایه گردید [۵].

بهرحال توزیع نیروهای زلزله برای دیوارهای حایل میان‌قابی که دارای انعطاف‌پذیری نسبتاً زیاد بوده و اطراف آن‌ها محصور به اسکلت سازه است هنوز دقیقاً مشخص نیست. در این مقاله بر اساس تحقیقات مونونوبه و اکابه، توزیعی سهموی برای نیروی لرزه‌ای وارد بر میان‌قاب حایل بتایی پیشنهاد شده و نتایج آن در مطالعات موردی با نتایج تحلیل‌های تاریخچه زمانی کنترل شده است. در ادامه نحوه بررسی کمی خرابی معرفی شده برای دیوارهای بتایی غیروزنی بررسی شده واقع شده و نهایتاً بر اساس اصول پذیرفته شده مقاومت مصالح، طرح به‌سازی لرزه‌ای برای جلوگیری از این حالت خرابی ارایه شده است.

رانش دینامیکی خاک (روش مونونوبه و اکابه)

نظریه فشار محرک کولمب را می‌توان برای در بر گرفتن نیروی ناشی از زلزله توسعه داد. شکل ذیل شرایط فشار محرک را برای خاک‌ریز دانه‌ای با چسبندگی صفر نشان می‌دهد. نیروهای موثر بر گوه گسیختگی خاک در شکل ۱ اساساً با نیروهای وارده بر گوه گسیختگی در حالت فشار محرک یک‌سان هستند و فقط دو نیروی جدید $K_v \cdot W$ و $K_h \cdot W$ به ترتیب در امتدادهای افقی و قائم به آن اضافه شده‌اند که همان نیروهای اینرسی ناشی از ارتعاشات افقی و قائم زلزله است. K_v و K_h به ترتیب نسبت شتاب افقی و شتاب قائم زمین به شتاب ثقل هستند [۵].

رابطه نیروی موثر بر واحد طول دیوار بدین صورت است:

$$P_{ac} = 0.5 \gamma H^2 (1 - K_v) K_{ac} \quad (2)$$

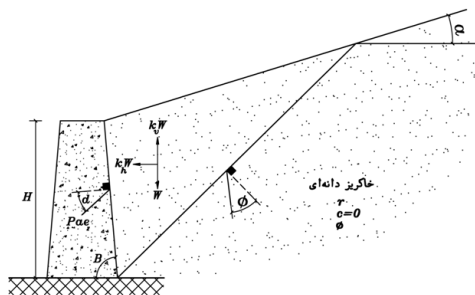
که در آن K_{ae} ضریب فشار جانبی محرک در هنگام زلزله است و از این رابطه به دست می‌آید:

$$K_{ae} = \frac{\sin^2(j + \beta - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \beta \sin(\beta - \theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(j + \delta) \sin(j - \theta - \alpha)}{\sin(\beta - \delta - \theta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (3)$$

که در آن؛

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{K_h}{1 - K_v} \right] \quad (4)$$

زوایای استفاده شده در رابطه فوق در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. زاویه δ زاویه اصطکاک خاک و دیوار است. توجه شود که در شرایط غیر زلزله، یعنی $K_h = 0$ ، $K_v = 0$ و $\theta = 0$ مقدار $K_a = K_{ae}$ می‌شود.



شکل ۱. فشار دینامیکی خاک پشت دیوار حایل

رابطه معادل P_{ae} به رابطه مونونوبه و اکابه معروف است و بر خلاف حالت نشان داده در حالت فشار محرک کولمب، در فاصله $H/3$ از پای دیوار اثر نمی‌کند. برای تعیین نقطه اثر این برآیند، از این روش می‌توان استفاده کرد.

۱. نیروی دینامیک ΔP_{ae} بر اساس رابطه (۵) محاسبه شود.

$$\Delta P_{ae} = P_{ae} - P_a \quad (5)$$

۲. نقطه اثر P_a (نیروی محرک خاک) در ارتفاع $H/3$ از پای دیوار منظور گردد.

۳. نقطه اثر ΔP_{ae} در ارتفاع $0.6H$ از پای دیوار در نظر گرفته شود.

۴. محل نقطه اثر برآیند از رابطه زیر محاسبه گردد:

$$\bar{z} = \frac{(0.6H)(\Delta P_{ae}) + (H/3)(P_a)}{P_{ae}} \quad (6)$$

بررسی عمل کرد عمود بر صفحه میان قاب‌های بنایی

برای محاسبه مقاومت چنانچه عمل کرد قوسی دیوارها در نظر گرفته نشود، ترک‌های خمشی باید بر حسب تنش کششی مورد انتظار که طبق بند ۴.۳ محاسبه می‌شود، محدود شوند. عمل کرد قوسی^۱ زمانی در نظر گرفته می‌شود که کف، سقف و ستون‌های محاط بر میان قاب دارای سختی کافی باشند به نحوی که در برابر نیروی وارده بر اثر عمل کرد قوسی میان قاب بتوانند مقاومت کنند. همچنین هیچ‌گونه ناپیوستگی نباید بین میان قاب و المان‌های سازه‌ای محاط بر آن وجود داشته باشد [۴].

در مورد معیارهای پذیرش باید گفت که چنانچه سطح عمل کرد قابلیت استفاده بی‌وقفه مد نظر باشد، ترک‌های خمشی در دیوارهای بنایی غیرمسلح در اثر بارهای اینرسی عمود بر صفحه نباید سبب ایجاد تنش‌های کششی بیش از تنش‌های کششی مجاز (با توجه به لحاظ کردن یا نکردن عمل کرد قوسی بر اساس بند ۴.۳ به دست می‌آید) ایجاد کند. در سطح عمل کرد ایمنی جانی و آستانه فروریزش ترک‌های خمشی در اثر نیروهای اینرسی عمود بر صفحه باید تا حدی که اجزای ترک خورده دیوار در هنگام تحریک دینامیکی پایدار بمانند، محدود شوند. با در نظر گرفتن شتاب‌های تاریخیچه زمانی در بالا و پایین میان قاب، در سطح عمل کرد ایمنی جانی و آستانه فروریزش، پایداری قطعات دیوار در شرایطی که نسبت ارتفاع به ضخامت دهانه دیوار از مقادیر جدول ۱ تجاوز نکند، لازم نیست کنترل شود. در جدول مذکور s_{x1} شتاب مبنای طرح است [۶].

مقاومت کششی مورد انتظار ناشی از خمش عمود بر صفحه باید به یکی از سه روش ذیل محاسبه شود [۶]:

۱. نمونه‌های آزمایشی به دست آمده از یک دیوار موجود تحت خمش حول محور ضعیف

به روش بوند-رنج استاندارد ۹۹-۱۰۷۲ ASTM C [۷].

۱. Arching action

۲. Bond-wrench

برای توضیحات بیش‌تر به قسمت ۲.۳.۲ FEMA274 C7 مراجعه شود.

۲. نمونه‌های آزمایش شده در محل به‌روش بوند-رنج.

۳. نمونه‌های به‌دست آمده از میان‌قالب بنایی برای خمش حول محور ضعیف طبق

ASTM E۵۱۸-۰۰ [۸].

جدول ۱. مقادیر حدی نسبت ارتفاع به ضخامت دیوار برای کنترل پایداری قطعات دیوار [۶]

| نوع دیوار | $S_{x1} < 0.24g$ | $0.24g < S_{x1} < 0.37g$ | $0.37g < S_{x1}$ |
|--|------------------|--------------------------|------------------|
| دیوارهای ساختمان‌های یک طبقه | ۲۰ | ۱۶ | ۱۳ |
| دیوار طبقه اول ساختمان‌های چند طبقه | ۲۰ | ۱۸ | ۱۵ |
| دیوار بالاترین طبقه ساختمان‌های چند طبقه | ۱۴ | ۱۴ | ۹ |
| سایر دیوارها | ۲۰ | ۱۶ | ۱۳ |

مقاومت کششی ناشی از خمش دیوارهای بنایی قدیمی که با ملات آهک ساخته شده‌اند، اغلب چشم‌پوشی می‌شود. در حالی که مقاومت کششی ناشی از خمش دیوارهای بنایی شاتکریت شده دارای مقادیر چشم‌گیر است و نباید چشم‌پوشی شود. برای خمش درون صفحه گرادیان تنش ناشی از خمش که از عرض مقطع عبور می‌کند، خیلی کم‌تر از خمش عمود بر صفحه است. بنا بر این اعدادی که از آزمایش‌ها در این بخش به‌دست می‌آیند، خیلی دست پایین هستند و فقط باید به‌عنوان مقاومت کششی درون صفحه به‌کار برده شوند. مقادیر رایج برای مقاومت کششی ناشی از خمش حتی برای مصالح بنایی خوب به‌علت وابستگی آن به چسبندگی ملات استفاده شده که مقادیر آن خیلی متغیر است، کم است [۶].

معرفی توزیع پیشنهادی برای نیروهای لرزه‌ای وارد بر بدنه دیوار حایل

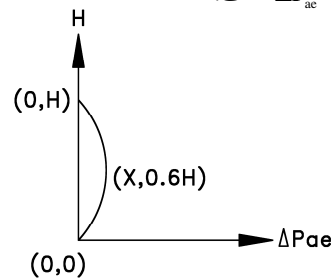
بر اساس روش مونونوبه و اکابه، نیروهای وارد بر دیوارهای حایل از طرف خاک شامل نیروی فعال P_a و اضافه فشار ناشی از زلزله در خاک ΔP_{ae} است [۱]. در مورد دیوارهای حایل بنایی غیروزنی، توزیع نیروهای جانبی وارد بر این دیوارها دارای اهمیت است. زیرا در این دیوارها بر خلاف دیوارهای حایل بتنی و وزنی که سازه دیوار حالت صلب دارد و خرابی غالب در آن‌ها به‌صورت لغزش در پای دیوار و یا دوران حول پاشنه دیوار است، بدنه این دیوارها حالت انعطاف‌پذیر داشته و وضعیت خرابی در آن‌ها به‌صورت شکست در بدنه دیوار است [۲]. به‌همین سبب باید توزیع نیروهای محاسبه شده در قسمت قبل مشخص شود.

فشار فعال P_a دارای توزیع مثلثی در ارتفاع دیوار حایل است و از مقدار صفر در بالای خاکریز تا $K_a \gamma H$ در پای آن به صورت خطی تغییر می‌کند بنا بر این محل برآیند آن در 0.33 ارتفاع دیوار است.

طبق تحقیقات مونونوبه و اکابه نیروی ΔP_{ae} دارای توزیع سهموی در ارتفاع دیوار حایل بوده به طوری که محل راس این سهمی در 0.6 ارتفاع دیوار است [۵]. آن چه دارای اهمیت ویژه است، تعیین معادله‌ای برای توزیع سهموی اضافه فشار دینامیکی ناشی از زلزله در خاک است. در این رابطه ابتدا توزیع فشار دینامیکی ΔP_{ae} را بدین صورت کلی فرض می‌کنیم:

$$x = ay^2 + by + c \quad (7)$$

هم‌چنین فرض بر آن است که راس سهمی در ارتفاع $0.6H$ واقع شده است. می‌دانیم که حجم زیر سطح سهمی در واحد طول دیوار برابر با ΔP_{ae} است.



شکل ۲. توزیع ΔP_{ae} در ارتفاع دیوار

مختصات نقاط $(0,H)$ و $(0,0)$ نشان داده شده در شکل ۲ را در معادله (۷) قرار داده تا ضرایب معادله سهمی به دست آید و در پی آن نحوه توزیع ΔP_{ae} در ارتفاع دیوار کاملاً مشخص شود. در نتیجه خواهیم داشت:

$$x = ay^2 - aHy \quad (8)$$

چنانچه مشاهده می‌شود به ازای دو نقطه معلوم، دو مجهول از سه مجهول موجود به دست آمدند. حال برای یافتن a مقدار نیروی ΔP_{ae} را برابر سطح زیر منحنی درجه ۲، در واحد طول دیوار قرار می‌دهیم.

$$\Delta P_{ae} = \int_0^H \int_{ay^2 - aHy}^0 dx dy = \int_0^H (aHy - ay^2) dy = \left[\frac{aHy^2}{2} - \frac{ay^3}{3} \right]_0^H = \frac{aH^3}{6} \Rightarrow a = \frac{6\Delta P_{ae}}{H^3} \quad (9)$$

بدین ترتیب با معلوم بودن ΔP_{ac} می‌توان ضریب a را به‌دست آورد و در نهایت توزیع سهموی اضافه بار ناشی از زلزله در واحد طول دیوار، دقیقاً مشخص می‌شود. نیروی لرزه‌ای دیگری که در جهت عمود بر صفحه دیوار به سیستم وارد می‌شود، نیروی اینرسی ناشی از وزن خود دیوار است که باید به‌صورت یک‌نواخت در جهت عمود بر صفحه دیوار لحاظ شود. مقدار این نیرو F_p طبق توصیه بند ۲-۸ استاندارد ۲۸۰۰ ایران طبق این رابطه محاسبه می‌شود [۹]:

$$F_p = A \cdot B_p \cdot I \cdot W_p \quad (10)$$

که در این رابطه ضرایب برای تحلیل در این مقاله بدین‌صورت در نظر گرفته شده‌اند:

- A نسبت شتاب مبنای طرح که برای منطقه با خطر نسبی بسیار زیاد $0/35$ در نظر گرفته شده است.
- ضریب اهمیت ساختمان که برای ساختمان مسکونی برابر با یک فرض شده است.
- W_p وزن جز ساختمان یا قطعه الحاقی مورد نظر است که برای دیوار بنایی با آجر فشاری و ملات ماسه سیمان 1900 کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته شده است.
- B_p ضریبی است که طبق جدول ۷ استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم، مقدار آن $0/7$ است.

حال می‌توان بر اساس توزیع نیروهای به‌دست آمده سه گانه در جهت عمود بر صفحه دیوار (فشار فعال خاک، اضافه فشار ناشی از زلزله در خاک و نیروی عمود بر صفحه ناشی از جرم خود دیوار) میان‌قاب حایل بنایی غیروزی را تحلیل کرد و مقادیر تنش‌های بحرانی در آن را به‌دست آورد.

بررسی شکست در اثر تنش کششی ناشی از خمش در دیوارهای بنایی

چنان‌که قبلاً اشاره شده است، در دیوارهای حایل بنایی (غیرصلب) وضعیت اصلی خرابی، شکست در بدنه دیوار است. بدین‌صورت که با استفاده از تحلیل خطی در اثر بارگذاری عمود بر صفحه دیوار، لنگرهای خمشی ایجاد شده در سازه دیوار بنایی باعث ایجاد تنش‌های کششی ناشی از خمش در دیوار می‌شود. حال چنان‌چه مقدار این تنش کششی بیش‌تر از تنش مجاز

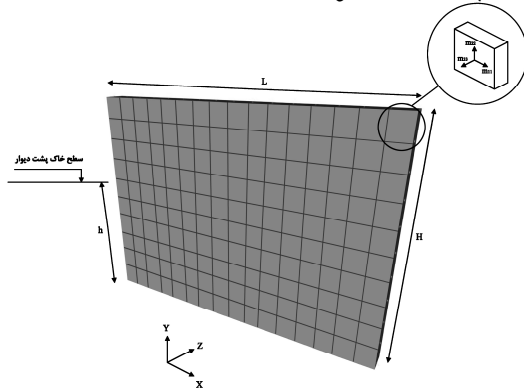
کششی مصالح بنایی شود، به‌عنوان خرابی در دیوار تلقی می‌شود [۲]. به‌منظور بررسی تحلیلی شکست در اثر تنش کششی ناشی از خمش در دیوارهای بنایی بدین‌صورت عمل شده است که چنانچه مدل‌سازی اجزاء محدود دیوار بنایی با المان‌های پوسته انجام شود و تحلیل خطی در اثر بار عمود بر صفحه انجام پذیرد، مطابق شکل ۳ در حالت کلی سه مولفه لنگر خمشی در المان پوسته ایجاد می‌شود.

از روی شکل ۳ به‌راحتی قابل مشاهده است که لنگرهای m_{11} و m_{22} باعث خمش عمود بر صفحه المان می‌شوند و لنگر m_{33} تأثیری بر وضعیت شکست عمود بر صفحه میان‌قاب ندارد. تنش ناشی از لنگر خمشی با در نظر گرفتن نواری به عرض واحد، بدین‌صورت محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}(1)(t^3)$$

$$\sigma = \frac{M.y}{I} \Rightarrow \begin{cases} \sigma_{22} = \frac{m_{22}(t/2)}{I} \\ \sigma_{11} = \frac{m_{11}(t/2)}{I} - \frac{F_{11}}{t} \end{cases} \quad (11)$$

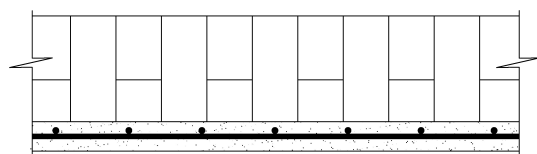
لازم به ذکر است که تنش فشاری ناشی از وزن دیوار در محل (F_{11}/t) باید از تنش کششی ایجاد شده در اثر m_{11} کاسته شود. σ_{11} و σ_{22} محاسبه شده به روش بالا باید با تنش مجاز کششی دیوار بنایی σ_{all} مقایسه شود. چنانچه مقادیر σ_{11} یا σ_{22} بیش‌تر از σ_{all} باشد، میان‌قاب حایل بنایی در زلزله تحت بارهای وارده دچار شکست خواهد شد [۲].



شکل ۳. مدل اجزاء محدود دیوار بنایی با استفاده از المان پوسته

روش به‌سازی لرزه‌ای دیوارهای حایل بنایی آسیب پذیر

چنانچه در قسمت قبل تنش‌های کششی محاسبه شده تحت بارهای وارده، بیش از مقدار مجاز شود دیوار در هنگام زلزله آسیب پذیر تلقی می‌شود. بنا بر این لازم است که عملیات به‌سازی در مورد این دیوارها قبل از اعمال زلزله انجام شود تا میان‌قاب حایل بنایی در هنگام زلزله دچار آسیب نشود. عملیات به‌سازی به‌صورت اجرای یک دال بتن‌پاشی (شاتکریت) به همراه سفره آرماتورهای متعامد درون آن است. از آنجاکه این دیوارها در زیرزمین ساختمان‌ها هستند و یک طرف آن‌ها در دسترس نیست اجرای بتن‌پاشی تنها در طرف درونی دیوار (داخل ساختمان) در نظر گرفته می‌شود. در چنین حالتی برای محاسبه ظرفیت باربری دیوار تقویت شده از روش مصالح معادل به شرح ذیل استفاده شده است [10]. با توجه به شکل ۴ نواری به عرض واحد از دیوار بنایی یک‌طرف تقویت شده را در نظر می‌گیریم.



شکل ۴. مقطع میان‌قاب حایل بنایی تقویت شده

برای محاسبه ظرفیت خمشی مقطع نشان داده شده چنانچه طبق توصیف G فصل هفتم ۴۱-۰۶ ASCE/SEI، مدول الاستیسیته مصالح بنایی متوسط (آجر و ملات) را حدود ۲۰۰۰۰ کیلوگرم برسانتی‌مترمربع فرض کرده و مدول الاستیسیته شاتکریت را با استفاده از رابطه $E = 15100\sqrt{f'_c}$ با فرض $f'_c = 100 \text{ kg/cm}^2$ برابر با ۱۵۱۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع در نظر گرفته شود، نسبت مدول الاستیسیته شاتکریت به مصالح بنایی برابر است با:

$$n = \frac{E_{sh}}{E_m} = \frac{151000}{20000} = 7.55 \quad (12)$$

با تبدیل مصالح شاتکریت به مصالح بنایی و افزایش عرض آن به اندازه n برابر عرض نوار دیوار بنایی، می‌توان به‌جای تحلیل مقطع مرکب به‌صورت شکل ۴، مقطع همگن T شکل توضیح داده شده را تحلیل کرد. در چنین حالتی بر اساس اصول اولیه مقاومت مصالح، ابتدا باید محل تارخشی مقطع T شکل را یافت و سپس بر اساس آن لنگر دوم مقطع را محاسبه

کرد. نهایتاً با استفاده از رابطه $\sigma = M.y/I$ می‌توان تنش‌های کششی ناشی از لنگر خمشی را با مقادیر مجاز آن کنترل کرد.

معرفی یک مثال کاربردی

برای تشریح مراحل ذکر شده در قسمت‌های قبل، میان‌قاب حایل بنایی به طول ۵ متر، به ارتفاع ۳ متر و به ضخامت ۲۲ سانتی‌متر که ارتفاع خاک پشت آن نیز ۳ متر است در نظر گرفته می‌شود. سایر پارامترهای مورد نیاز مطابق جدول ۲ است:

جدول ۲. مشخصات مثال کاربردی

| ردیف | مشخصه | نماد | مقدار | واحد |
|------|--------------------------------|----------|-------|------------------------|
| ۱ | زاویه سطح خاک با افق | α | صفر | درجه |
| ۲ | زاویه سطح بدنه دیوار با افق | β | ۹۰ | درجه |
| ۳ | زاویه اصطکاک داخلی خاک دانه‌ای | ϕ | ۳۰ | درجه |
| ۴ | زاویه اصطکاک بین خاک و دیوار | δ | ۱۷/۵ | درجه |
| ۵ | مؤلفه افقی شتاب | K_h | ۰/۲ g | متر بر مجذور ثانیه |
| ۶ | مؤلفه قائم شتاب برابر | K_v | صفر | متر بر مجذور ثانیه |
| ۷ | زاویه بین مؤلفه‌های شتاب | θ | ۱۱/۳ | درجه |
| ۸ | وزن مخصوص خاک پشت دیوار | γ | ۲۰ | کیلو نیوتن بر متر مکعب |

لازم به ذکر است مؤلفه افقی شتاب طبق توصیه بند ۱۴-۴-۱ مرجع ۹، برای مناطق با خطر نسبی شدید برابر با ۰/۲ گرم فرض شده است [۱۱]. همچنین زاویه بین مؤلفه‌های شتاب از رابطه (۴) محاسبه شده است. دیوار بنایی ذکر شده، در نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ با استفاده از المان Shell و با خصوصیات مصالح بنایی مدل شده و تحت بارهای ثقلی ناشی از وزن دیوار، فشار عمود بر صفحه ناشی از زلزله در خاک، نیروی اینرسی ناشی از وزن خود دیوار و فشار فعال خاک قرار گرفته است.

در شکل ۳ مدل‌سازی انجام شده در نرم‌افزار و پارامترهای معرفی شده نشان داده شده است. میان‌قاب حایل بنایی مذکور تحت بارهای وارده تحلیل خطی شده است. نتایج تحلیل به شرح جدول ۳ است. در جدول‌های مذکور ضریب R نسبت نیرو به ظرفیت موجود یا تأمین شده است که بدین صورت تعریف می‌شود:

$$R = \frac{\max \text{ of } (\sigma_{11}, \sigma_{22})}{\sigma_{\text{all}}} \times 100\% \quad (13)$$

جدول ۳. کنترل وضعیت موجود میان‌قاب حایل بنایی

| L (سانتی‌متر) | H (سانتی‌متر) | t (سانتی‌متر) | ts (سانتی‌متر) | M11 (کیلوگرم بر سانتی‌متر) | M22 (کیلوگرم بر سانتی‌متر) | F22 (کیلوگرم) | σ_{11} (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) | σ_{22} (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) | σ_{all} (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) | R % |
|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------|---|---|---|--------|
| ۵۰۰ | ۳۰۰ | ۲۲ | ۲۲ | ۴۹۶ | ۱۴۶۷ | ۹/۹۸ | ۶/۱۶ | ۱۷/۷۳ | ۴/۴۹ | ۳۹۴/۹۰ |

چنان‌که مشاهده می‌شود، میان‌قاب حایل بنایی مذکور تحت بارهای وارده دچار آسیب در بدنه خواهد گشت و نیازمند عملیات به‌سازی است. عملیات به‌سازی میان‌قاب حایل بنایی با تقویت دیوار به‌وسیله ۵ سانتی‌متر شاتکریت انجام شده است. بررسی‌ها حاکی از آن است که افزودن شاتکریت به‌ضخامت ۵ سانتی‌متر، در ناحیه مرکزی دیوار به‌فاصله ۳۰ سانتی‌متر از بالای دیوار، ۱۵ سانتی‌متر از پایین دیوار و ۳۰ سانتی‌متر از طرفین دیوار مورد نیاز است. نتایج کنترل در حالت تقویت شده به شرح جدول ۴ است.

جدول ۴. کنترل وضعیت تقویت شده میان‌قاب حایل بنایی

| tm (سانتی‌متر) | ybar (سانتی‌متر) | I (cm ⁴) | M11 (کیلوگرم بر سانتی‌متر) | M22 (کیلوگرم بر سانتی‌متر) | F22 (کیلوگرم) | σ_{11} (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) | σ_{22} (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) | σ_{all} (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) | R % |
|-------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------|---|---|---|-------|
| ۵ | ۷/۹۵۰ | ۳۳۴۶/۰۳ | ۷۳۵/۷۷ | ۱۷۶۹/۷۳ | ۱۱/۸۵ | ۱/۷۵ | ۳/۹۹ | ۴/۴۹ | ۸۸/۸۰ |

چنان‌چه مشاهده می‌شود، پس از عملیات به‌سازی نسبت نیرو به ظرفیت به کم‌تر از ۱۰۰ درصد کاهش یافته است. جزئیات طرح به‌سازی لرزه‌ای در پیوست ۲ ارائه شده است.

کنترل نتایج روش پیشنهادی با نرم‌افزار (W/کواک) ژئوسلوپ^۱

در این قسمت که با کمک مطالب مندرج در مراجع [۱۲]، [۱۳] و [۱۴]، به‌منظور کنترل و بررسی دقت روش پیشنهاد شده، تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی خطی، تحت سه شتاب‌نگاشت مربوط به زلزله‌های چی‌چی^۲ (۱۹۹۹)، کوب^۳ (۱۹۹۵) و نورترایج^۴ (۱۹۹۴) که

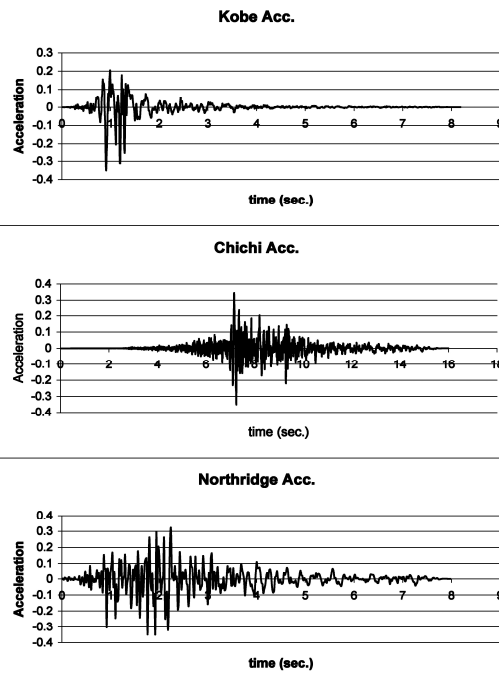
۱. Geoslope (Quake/W) ۲. Chichi ۳. Kobe ۴. Northridge

PGA آن‌ها به 0.35 شتاب ثقل مقیاس شده است، با نرم‌افزار (W/کواک) ژئوسلپ در مورد پنج میان‌قاب حایل بنایی انجام شده است. مشخصات الاستیک مصالح بنایی و خاک و سایر مشخصات هندسی دیوارها در مدل‌سازی به شرح جدول ۵ در نظر گرفته شده است [۶]:

جدول ۵. مشخصات در نظر گرفته شده برای حالات مختلف تحلیل عددی

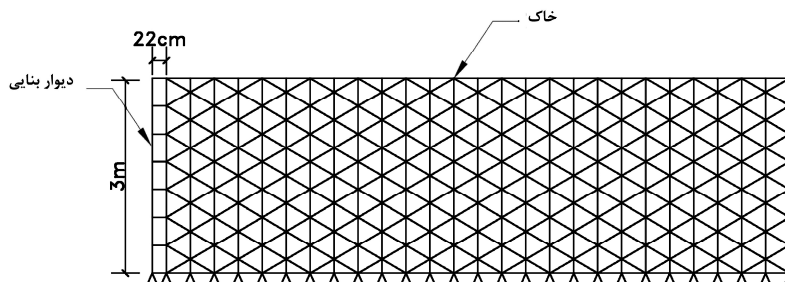
| مشخصات مصالح بنایی در تمام حالات | مشخصات خاک در تمام حالات | ضخامت دیوار (cm) | ارتفاع دیوار (cm) | حالت تحلیل |
|---|---|------------------|-------------------|------------|
| $E = 2e6 \text{ kN/m}^2$ $\nu = 0.15$ $G = 8.65e5 \text{ kN/m}^2$ $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ | $E = 11000 \text{ kN/m}^2$ $\nu = 0.35$ $G = 4071.1 \text{ kN/m}^2$ $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ | ۴۵ | ۳۰۰ | Case1 |
| | | ۳۵ | ۳۰۰ | Case2 |
| | | ۲۲ | ۲۵۰ | Case3 |
| | | ۲۲ | ۳۰۰ | Case4 |
| | | ۲۲ | ۳۵۰ | Case5 |

در شکل ۵ تاریخچه زمانی شتاب‌نگاشت‌های استفاده شده نشان داده شده است [۱۵]:



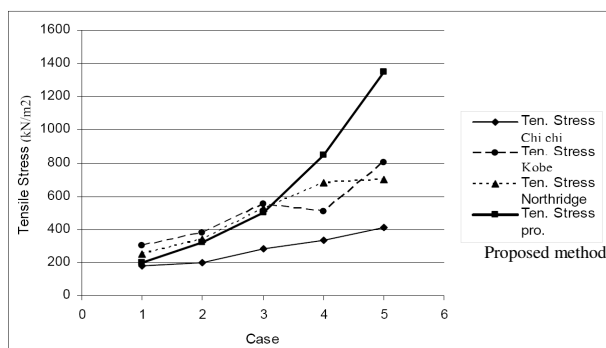
شکل ۵. شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده به 0.35 شتاب ثقل به ترتیب از بالا به پایین: کوب، چی چی، نورتریج

ارتفاع خاک پشت دیوارها در تمامی موارد برابر با ارتفاع دیوار در نظر گرفته شده است. عرض دیوار هم بیش از دو برابر ارتفاع دیوار در نظر گرفته شده است، تا عمل کرد دال‌گونه دیوار به صورت یک طرفه باشد و تحلیل دوبعدی دارای دقت قابل قبولی باشد. در شکل ۶ به عنوان نمونه مدل‌سازی انجام شده در مورد حالت چهارم در نرم‌افزار (W/کواک) ژئوسلپ نشان داده شده است.



شکل ۶. مدل‌سازی دوبعدی دیوار حایل و خاک پشت آن در نرم‌افزار Geostudio

پس از تحلیل، تاریخچه زمانی، تنش کششی ایجاد شده در پشت دیوار، در وسط ارتفاع آن ناشی از اثرات اندرکنش دیوار و خاک در هنگام زلزله تحت سه شتاب‌نگاشت یاد شده استخراج شده و مقادیر حداکثر آن‌ها با نتایج روش پیشنهاد شده در نمودار زیر ترسیم شده است. نتایج حاکی از تطابق نسبی در حالات اول تا سوم است. در حالات چهارم و پنجم بین نتایج روش پیشنهادی با نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی تفاوت وجود دارد ولی نتایج روش پیشنهادی برای اطمینان است.



شکل ۷. مقایسه نتایج روش پیشنهادی و روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی

انجام پژوهش‌های تحلیلی برای ارزیابی آسیب‌پذیری و به‌سازی میان‌قاب‌های حایل بنایی

توزیع پیشنهادی در مورد اضافه فشار ناشی از زلزله بر میان‌قاب حایل بنایی، ساده و دارای دقت قابل قبولی است. بر اساس توزیع پیشنهادی و با توجه به روش به‌سازی ارایه شده که روشی نسبتاً ارزان و قابل اعتماد است، می‌توان برای بسیاری از دیوارهای حایل بنایی موجود در ساختمان‌های متداول شهری طرح به‌سازی ارایه کرد و از وارد آمدن آسیب به آن‌ها در هنگام زمین لرزه جلوگیری کرد.

بر این اساس پژوهش‌های تحلیلی در موارد مختلف میان‌قاب‌های حایل بنایی انجام شده است. در هر مورد مطابق آنچه در بخش ۵ پژوهش حاضر ارایه شده است، ابتدا آسیب‌پذیری لرزه‌ای دیوار تحت مجموعه بارهای عمود بر صفحه آن بررسی شده است. در مرحله بعد بر اساس آنچه در بخش ۶ این مقاله ارایه گردیده است، در مورد دیوارهای آسیب‌پذیر اقدام به ارایه طرح به‌سازی لرزه‌ای شده است. پارامترهای متغیر در مدل‌سازی دیوارهای حایل بنایی به شرح جدول ۶ است و به‌گونه‌ای در نظر گرفته شده‌اند که مبین حالات واقعی باشند.

جدول ۶. معرفی و مقادیر پارامترهای مفروض در پژوهش‌های تحلیلی

| ردیف | نماد | توضیح | مقادیر در نظر گرفته شده | | |
|------|--------|---|-------------------------|-------|------|
| ۱ | L (m) | طول دیوار | ۴ | ۵ | ۶ |
| ۲ | H (m) | ارتفاع دیوار | ۲/۵ | ۳ | ۳/۵ |
| ۳ | t (cm) | ضخامت دیوار | ۲۲ | ۳۵ | ۴۵ |
| ۴ | - | نوع مصالح | خوب | متوسط | ضعیف |
| ۵ | h/H | نسبت ارتفاع خاک پشت دیوار به ارتفاع دیوار | ۰/۵ | ۰/۷۵ | ۱ |

آنچه در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای دیوارهای حایل بنایی از اهمیت زیادی برخوردار است، نحوه محاسبه مقدار تنش نهایی کششی مصالح بنایی در غیاب اطلاعات دقیق طبق آنچه در قسمت ۳.۳ بیان شده، است. بر این اساس ابتدا بر اساس بند ۷.۳.۲.۱۰ FEMA356 مقادیر کرانه پایین مقاومت فشاری مصالح بنایی برای سه نوع مصالح خوب، متوسط و ضعیف به ترتیب برابر مقادیر نشان داده شده در جدول ۷ در نظر گرفته شده است. سپس با استفاده از رابطه $E = 550f'_m$ مبادرت به محاسبه مدول الاستیسیته فشاری مصالح بنایی شده است و در ۱. به جدول ۷-۱ FEMA356 مراجعه شود.

نهایت مقاومت کششی نهایی مصالح بنایی حدود ۱۰ درصد مقاومت فشاری کرانه پایین آن منظور شده و محاسبات بر اساس آن انجام شده است [۱۶].

جدول ۷. مشخصات مهندسی مصالح بنایی در پژوهش‌های تحلیلی

| مشخصات مصالح | (واحد) نماد | ضعیف | متوسط | خوب |
|-------------------------|------------------------------|---------|-------|---------|
| مقاومت فشاری | f'_c (kg/cm ²) | ۲۲/۴ | ۴۴/۹ | ۶۷/۳ |
| مدول الاستیسیته در فشار | E (kg/cm ²) | ۱۱۵۹۹/۵ | ۲۳۱۹۹ | ۳۴۷۹۸/۵ |
| مقاومت کششی | f_t (kg/cm ²) | ۲/۲۴ | ۴/۴۹ | ۶/۷۳ |

مطلب مهم دیگری که در پژوهش‌های تحلیلی در نظر گرفته شده است این فرض است که دیوار در محل مرزهای خود اتصال مناسبی با قاب محاط بر خود دارد به طوری که تحت مجموعه بارهای عمود بر صفحه، خرابی در اثر جدایی دیوار از محل اتصال با قاب اتفاق نمی‌افتد. چنانچه در وضعیت موجود چنین اتصالی موجود نباشد، باید قبل از اقدام به به‌سازی لرزه‌ای در بدنه دیوار، اتصال مناسب بین دیوار و قاب ایجاد شود. در ادامه روش کار برای بهبود اتصال دیوار به قاب در قاب‌های فولادی و بتنی به صورت جداگانه ارائه شده است:

- در مورد قاب‌های فولادی می‌توان در تمامی محیط دیوار غیر از وجه زیرین آن از نبشی استفاده کرد. بدین صورت که یک بال نبشی پشت دیوار در سمت داخل ساختمان قرار گرفته و بال دیگر آن به تیر یا ستون فولادی در محل جوش می‌شود. طبق بررسی‌های به عمل آمده تحت زلزله سطح خطر (۱) و در سطح عمل کرد ایمنی جانی می‌توان از نبشی L100x10 که در فواصل ۱ متری به قاب جوش گوشه با بعد ۸ میلی‌متر و طول ۱۰ سانتی‌متر شده است، استفاده کرد. به‌عنوان گزینه‌های دیگر می‌توان از نبشی L80x8 با جوش گوشه در فواصل ۸۰ سانتی‌متر به بعد ۷ میلی‌متر و یا از نبشی L60x6 با جوش گوشه در فواصل ۵۰ سانتی‌متر به بعد ۵ میلی‌متر استفاده کرد.
- در مورد قاب‌های بتنی مسلح نیز روش کار همانند قاب‌های فولادی است با این تفاوت که برای اتصال پروفیل نبشی به قاب بتنی از کاشت آرماتور استفاده می‌شود. در مورد نبشی L100x10 کاشت میلگرد نمره ۱۸ به عمق ۱۲/۵ سانتی‌متر، در مورد نبشی L80x8 کاشت میلگرد نمره ۱۶ به عمق ۱۰ سانتی‌متر و در مورد نبشی

L60x6 کاشت میلگرد نمره ۱۴ به عمق ۸ سانتی‌متر در بتن المان‌های قاب با استفاده از چسب بتن پیشنهاد می‌شود.

• در ادامه نتایج بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ۲۴۳ مورد دیوار حایل بنایی که در اثر ترکیبات مختلف ۵ پارامتر فوق‌الذکر ایجاد شده است، ارایه گردیده است. در هر مورد چنان‌چه نسبت نیرو به ظرفیت (R طبق رابطه (۹) بیش از ۱۰۰ باشد، میان‌قاب حایل بنایی تحت بارهای وارده آسیب‌پذیر است و نیازمند به‌سازی لرزه‌ای است.

در جدول ۸، نمونه نتایج عددی کنترل آسیب‌پذیری لرزه‌ای دیوارهای حایل بنایی در چند مورد خاص ارایه شده و در پیوست ۱، نتایج کامل کنترل‌های فوق‌الذکر به‌صورت نمودار ترسیم شده است.

جدول ۸. نمونه نتایج کمی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای میان‌قاب حایل بنایی

| مصالح | h/H | t/H | L/H | R% | مصالح | h/H | t/H | L/H | R% | مصالح | h/H | t/H | L/H | R% |
|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|--------|
| خوب | ۰/۵ | ۰/۰۶۳ | ۱/۱۴ | ۱۶۹/۴ | متوسط | ۰/۵ | ۰/۰۶۳ | ۱/۱۴ | ۲۵۴ | ضعیف | ۰/۵ | ۰/۰۶۳ | ۱/۱۴ | ۵۰۹/۱ |
| خوب | ۰/۵ | ۰/۰۷۳ | ۱/۳۳ | ۱۲۷ | متوسط | ۰/۵ | ۰/۰۷۳ | ۱/۳۳ | ۱۹۰/۳ | ضعیف | ۰/۵ | ۰/۰۷۳ | ۱/۳۳ | ۳۸۱/۴ |
| خوب | ۰/۵ | ۰/۰۸۸ | ۲ | ۱۲۰/۲ | متوسط | ۰/۵ | ۰/۰۸۸ | ۲ | ۱۸۰/۱ | ضعیف | ۰/۵ | ۰/۰۸۸ | ۲ | ۳۶۱/۱ |
| خوب | ۰/۷۵ | ۰/۰۶۳ | ۱/۱۴ | ۲۰۲/۱ | متوسط | ۰/۷۵ | ۰/۰۶۳ | ۱/۱۴ | ۳۰۲/۹ | ضعیف | ۰/۷۵ | ۰/۰۶۳ | ۱/۱۴ | ۶۰۷/۲ |
| خوب | ۰/۷۵ | ۰/۰۷۳ | ۱/۳۳ | ۱۵۱/۷ | متوسط | ۰/۷۵ | ۰/۰۷۳ | ۱/۳۳ | ۲۲۷/۴ | ضعیف | ۰/۷۵ | ۰/۰۷۳ | ۱/۳۳ | ۴۵۵/۷ |
| خوب | ۰/۷۵ | ۰/۰۷۳ | ۲ | ۳۱۳ | متوسط | ۰/۷۵ | ۰/۰۷۳ | ۲ | ۴۶۹/۱ | ضعیف | ۰/۷۵ | ۰/۰۷۳ | ۲ | ۹۴۰/۴ |
| خوب | ۱ | ۰/۰۶۳ | ۱/۱۴ | ۲۲۲/۵ | متوسط | ۱ | ۰/۰۶۳ | ۱/۱۴ | ۳۳۳/۵ | ضعیف | ۱ | ۰/۰۶۳ | ۱/۱۴ | ۶۶۷/۵ |
| خوب | ۱ | ۰/۰۷۳ | ۱/۳۳ | ۱۶۷/۲ | متوسط | ۱ | ۰/۰۷۳ | ۱/۳۳ | ۲۵۰/۶ | ضعیف | ۱ | ۰/۰۷۳ | ۱/۳۳ | ۵۰۲/۲ |
| خوب | ۱ | ۰/۰۷۳ | ۲ | ۳۷۴/۶ | متوسط | ۱ | ۰/۰۷۳ | ۲ | ۵۶۱/۵ | ضعیف | ۱ | ۰/۰۷۳ | ۲ | ۱۱۲۵/۵ |

چنان‌چه از نمودارهای ارایه شده در پیوست ۱ قابل دریافت است، طبق تحلیل‌های انجام شده در موارد متعددی میان‌قاب‌های حایل بنایی تحت بارهای وارده آسیب‌پذیر است و نیازمند عملیات به‌سازی لرزه‌ای است. در حالات بینابین می‌توان از درون‌یابی خطی بین دو وضعیت مشخص طرفین استفاده کرد. نتایج عملیات به‌سازی در موارد آسیب‌پذیر در جدول ۱۰ ارایه شده است. در جدول ۱۰، پنج ستون اول همانند پنج ستون اول جدول ۸ است. سایر ستون‌ها به شرح جدول ۹ هستند:

جدول ۹. معرفی پارامترهای اجرایی تقویت دیوارهای حائل بتنی با مش و ملات ارائه شده

| ردیف | نماد | توضیح |
|------|----------|---|
| ۱ | tm/t | ضخامت لایه مش و ملات برای تقویت میان‌قاب حایل بتنی آسیب‌پذیر بخش بر ضخامت دیوار |
| ۲ | top (cm) | فاصله شروع تقویت با مش و ملات تا تکیه‌گاه بالایی میان‌قاب حایل بتنی |
| ۳ | bot (cm) | فاصله شروع تقویت با مش و ملات تا تکیه‌گاه پایینی میان‌قاب حایل بتنی |
| ۴ | lat.(cm) | فاصله شروع تقویت با مش و ملات تا تکیه‌گاه کناری میان‌قاب حایل بتنی |
| ۵ | R.a.r % | درصد نسبت نیرو به ظرفیت تامین شده در دیوار حایل بتنی پس از تقویت با مش و ملات |

در پیوست ۱، نمودارهای نتایج نسبت نیرو به ظرفیت پس از عملیات به‌سازی لرزه‌ای در موارد آسیب‌پذیر ارائه شده است. ضخامت و فواصل ناحیه تقویت دیوار با مش و ملات از کناره‌های دیوار با توجه به جدول ۱۰ حاصل می‌شود. ترتیب قرارگیری داده‌ها در جدول ۱۰ به این‌صورت است که از ستون سمت چپ به راست داده‌ها از مقادیر کوچک‌تر به مقادیر بزرگ‌تر مرتب شده‌اند. لازم به ذکر است که حداقل ضخامت تقویت با مش و ملات به‌دلیل مسایل اجرایی ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق بر اساس روش موندنوبه و اکابه در مورد یک میان‌قاب حایل بتنی غیرصلب در امتداد عمود بر صفحه دیوار که محاط در یک قاب ساختمانی فولادی یا بتنی است، به محاسبه نیروهای دینامیکی ناشی از زلزله و ارائه توزیع آن نیروها بر بدنه دیوار پرداخته شده است. در روش موندنوبه و اکابه دیوار حایل صلب فرض شده و وضعیت غالب شکست، لغزش دیوار و یا چرخش حول پاشنه آن است، درحالی‌که در مورد یک میان‌قاب حایل بتنی غیروزنی، وضعیت غالب خرابی شکست در بدنه دیوار تحت نیروهای عمود بر صفحه است. در چنین وضعیتی توزیع نیروهای لرزه‌ای وارده بر دیوار اهمیت می‌یابد. در این مقاله با بررسی اثرات نیروهای دینامیکی عمود بر صفحه دیوار حایل بتنی غیروزنی، وضعیت شکست در بدنه دیوار به‌صورت تحلیلی بررسی شده و نتایج حاصل با نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی با استفاده از نرم‌افزار (W/کواک) ژئوسلوپ نیز کنترل شده است. سپس با انجام پژوهش‌های موردی در ۲۴۳ حالت خاص، جداول و نمودارهای کاربردی برای ارزیابی لرزه‌ای دیوارهای

موجود ارایه شده است. بر اساس این نمودارها دیوارهای آسیب‌پذیر مشخص گردیده و در نهایت جدول‌ها و نمودارهای کاربردی برای به‌سازی لرزه‌ای دیوارهای آسیب‌پذیر ارایه گردیده است.

منابع

1. Das B. M., "Principles of Geotechnical Engineering", Fifth Edition, Brooks/Cole, Pacific Grove, California (2002).
2. Hendry A. W., Sinha B. P., Davies S. R., "Design of Masonry Structures", Third Edition of Load Bearing Brickwork Design, Department of Civil Engineering University of Edinburgh, UK (2004).
3. Seed H. B., Whitman R. V., "Design of Earth Retaining Structures for Seismic Loads", ASCE Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures, Cornell University, Ithaca, New York, June 22–24 (1970).
4. American Society of Civil Engineers (ASCE/SEI 41-06), "Seismic Rehabilitation of Existing Buildings", Virginia (2006).
5. Prakash, S., "Soil Dynamics", McGraw-Hill Inc., New York, (1981).
6. Federal Emergency Management Agency (FEMA), "Seismic Rehabilitation Pre-standard", Washington D. C., November (2000).
7. ASTM C1072-99, "Standard Test Method for Measurement of Masonry Flexural Bond Strength", American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania (1999).
8. ASTM E518-00, "Standard Test Measures for Flexural Bond Strength of Masonry", American Society for Testing and Materials, West Conshohoc-ken, Pennsylvania (2000).

۹. کمیته دائمی بازننگری آئین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، آئین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، استاندارد ۸۴-۲۸۰۰، ویرایش ۳ (۱۳۸۴).
10. Ferdinand P. B, Johnston, E. R., T. De Wolf, J., "Mechanic of Materials", Fourth Edition in SI Units, McGraw-Hill Inc., New York, (2005).
۱۱. دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله، راهنمای طراحی دیوارهای حایل، نشریه شماره ۳۰۸، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (۱۳۸۴).
12. Ghos S., Nandan Dey G., Datta B. "Pseudo static analysis of rigid retaining wall for dynamic active earth pressure", The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG) 1-6 October, Goa, India (2008).
13. Psarropoulos P. N., Klonaris G., "Seismic earth pressure on rigid and flexible retaining wall", International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, No.11, Berkeley, ETATS-UNIS (2004).
14. Boyd M., "The performance of reinforced earth structure in the vicinity of Kobe during the 1995 earthquake", Australia New Zealand Conference on Geomechanics: Geomechanics in a Changing World, Proceeding (1996).
15. <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>
۱۶. دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، دستورالعمل به‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، نشریه شماره ۳۶۰، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۸۵)، ۸۵/۰۰/۱۷۲.

پیوست‌ها:

جدول ۱۰. نتایج کمی کنترل دیوارهای حایل بتایی تقویت شده با مش و ملات

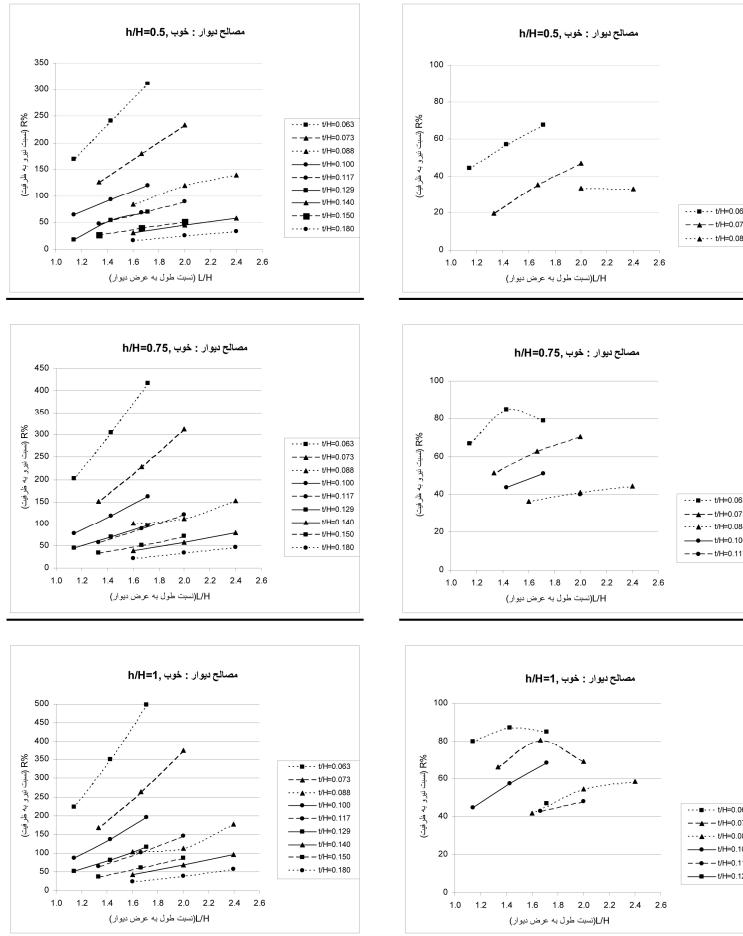
| tm/t | top | bot. | lat. | R.a.r% | مصالح | h/H | t/H | L/H | tm/t | top | bot. | lat. | R.a.r% |
|-------|-----|------|------|--------|-------|------|-------|-------|-------|-----|------|------|--------|
| 0.227 | 60 | 35 | 65 | 38.45 | ضعیف | 0.5 | 0.15 | 2 | 0.111 | 120 | 60 | 190 | 18.49 |
| 0.227 | 45 | 25 | 60 | 44.82 | ضعیف | 0.75 | 0.063 | 1.143 | 0.227 | 25 | 15 | 20 | 79.98 |
| 0.227 | 45 | 25 | 60 | 48.5 | ضعیف | 0.75 | 0.063 | 1.429 | 0.341 | 17 | 10 | 20 | 92.36 |
| 0.143 | 130 | 65 | 75 | 35.24 | ضعیف | 0.75 | 0.063 | 1.714 | 0.455 | 20 | 10 | 20 | 96.19 |
| 0.143 | 90 | 45 | 90 | 47.36 | ضعیف | 0.75 | 0.073 | 1.333 | 0.227 | 30 | 15 | 25 | 62.65 |
| 0.143 | 70 | 35 | 80 | 55.48 | ضعیف | 0.75 | 0.073 | 1.667 | 0.227 | 20 | 10 | 20 | 79.34 |
| 0.143 | 165 | 100 | 165 | 28.32 | ضعیف | 0.75 | 0.073 | 2 | 0.227 | 15 | 10 | 20 | 90.82 |
| 0.143 | 105 | 60 | 130 | 34.47 | ضعیف | 0.75 | 0.088 | 1.6 | 0.227 | 25 | 15 | 30 | 43.52 |
| 0.143 | 80 | 50 | 120 | 39.23 | ضعیف | 0.75 | 0.088 | 2 | 0.227 | 25 | 15 | 30 | 53.3 |
| 0.111 | 175 | 105 | 195 | 31.75 | ضعیف | 0.75 | 0.088 | 2.4 | 0.227 | 25 | 15 | 30 | 57.83 |
| 0.111 | 125 | 75 | 160 | 38.59 | ضعیف | 0.75 | 0.1 | 1.143 | 0.143 | 65 | 30 | 50 | 38.68 |
| 0.227 | 35 | 20 | 30 | 90.56 | ضعیف | 0.75 | 0.1 | 1.429 | 0.143 | 45 | 20 | 45 | 52.53 |
| 0.341 | 30 | 20 | 25 | 94.3 | ضعیف | 0.75 | 0.1 | 1.714 | 0.143 | 35 | 25 | 45 | 63.19 |
| 0.455 | 25 | 20 | 20 | 94.86 | ضعیف | 0.75 | 0.117 | 1.333 | 0.143 | 70 | 35 | 60 | 29.85 |
| 0.227 | 60 | 45 | 35 | 73.97 | ضعیف | 0.75 | 0.117 | 1.667 | 0.143 | 50 | 30 | 60 | 38.6 |
| 0.227 | 30 | 15 | 30 | 88.8 | ضعیف | 0.75 | 0.117 | 2 | 0.143 | 45 | 25 | 55 | 43.28 |
| 0.341 | 25 | 15 | 30 | 80.42 | ضعیف | 0.75 | 0.129 | 1.143 | 0.111 | 115 | 55 | 90 | 25.37 |
| 0.227 | 45 | 25 | 45 | 50.8 | ضعیف | 0.75 | 0.129 | 1.429 | 0.111 | 75 | 35 | 70 | 35.19 |
| 0.227 | 35 | 20 | 45 | 57.91 | ضعیف | 0.75 | 0.129 | 1.714 | 0.111 | 65 | 35 | 70 | 42.63 |
| 0.227 | 30 | 20 | 45 | 63.45 | ضعیف | 0.75 | 0.14 | 1.6 | 0.143 | 75 | 45 | 90 | 20.72 |
| 0.143 | 95 | 40 | 75 | 47.14 | ضعیف | 0.75 | 0.14 | 2 | 0.143 | 65 | 40 | 85 | 25.3 |
| 0.143 | 70 | 35 | 60 | 63 | ضعیف | 0.75 | 0.14 | 2.4 | 0.143 | 55 | 45 | 80 | 26.99 |
| 0.143 | 50 | 30 | 60 | 74.94 | ضعیف | 0.75 | 0.15 | 1.333 | 0.111 | 125 | 70 | 125 | 19.1 |
| 0.143 | 105 | 50 | 100 | 37.26 | ضعیف | 0.75 | 0.15 | 1.667 | 0.111 | 90 | 50 | 105 | 24.55 |
| 0.143 | 75 | 45 | 85 | 45.65 | ضعیف | 0.75 | 0.15 | 2 | 0.111 | 70 | 45 | 100 | 29.1 |
| 0.143 | 60 | 35 | 80 | 51.81 | ضعیف | 0.75 | 0.18 | 2 | 0.111 | 135 | 95 | 220 | 17.57 |
| 0.111 | 185 | 100 | 160 | 32.59 | ضعیف | 0.75 | 0.18 | 2.4 | 0.111 | 100 | 75 | 190 | 17.49 |
| 0.111 | 110 | 60 | 120 | 43.49 | ضعیف | 1 | 0.063 | 1.143 | 0.341 | 25 | 10 | 15 | 91.52 |
| 0.111 | 90 | 55 | 110 | 51.33 | ضعیف | 1 | 0.063 | 1.429 | 0.568 | 15 | 10 | 10 | 94.25 |
| 0.143 | 100 | 70 | 150 | 30.48 | ضعیف | 1 | 0.063 | 1.714 | 0.682 | 10 | 8 | 10 | 99.14 |
| 0.143 | 85 | 60 | 140 | 32.4 | ضعیف | 1 | 0.073 | 1.333 | 0.227 | 20 | 10 | 15 | 83.37 |
| 0.111 | 150 | 100 | 195 | 33.72 | ضعیف | 1 | 0.073 | 1.667 | 0.341 | 15 | 10 | 15 | 90.2 |
| 0.111 | 110 | 75 | 170 | 35.98 | ضعیف | 1 | 0.073 | 2 | 0.455 | 15 | 10 | 15 | 90.13 |
| 0.227 | 35 | 20 | 30 | 54.11 | ضعیف | 1 | 0.088 | 1.6 | 0.227 | 25 | 15 | 25 | 59.09 |
| 0.227 | 30 | 15 | 30 | 73.22 | ضعیف | 1 | 0.088 | 2 | 0.227 | 20 | 15 | 25 | 69.89 |
| 0.227 | 25 | 15 | 30 | 89.23 | ضعیف | 1 | 0.088 | 2.4 | 0.227 | 15 | 15 | 25 | 76.85 |
| 0.227 | 40 | 20 | 40 | 41.62 | ضعیف | 1 | 0.1 | 1.143 | 0.143 | 50 | 30 | 35 | 52.45 |
| 0.227 | 30 | 20 | 30 | 53.78 | ضعیف | 1 | 0.1 | 1.429 | 0.143 | 35 | 20 | 30 | 71.07 |
| 0.227 | 25 | 20 | 30 | 61.08 | ضعیف | 1 | 0.1 | 1.714 | 0.143 | 25 | 20 | 30 | 85.47 |
| 0.227 | 45 | 25 | 50 | 30.18 | ضعیف | 1 | 0.117 | 1.333 | 0.143 | 50 | 25 | 45 | 40.01 |
| 0.227 | 35 | 20 | 45 | 34.76 | ضعیف | 1 | 0.117 | 1.667 | 0.143 | 40 | 25 | 45 | 51.12 |
| 0.227 | 30 | 20 | 45 | 38.33 | ضعیف | 1 | 0.117 | 2 | 0.143 | 30 | 20 | 40 | 59.28 |
| 0.143 | 100 | 50 | 80 | 24.57 | ضعیف | 1 | 0.129 | 1.143 | 0.111 | 50 | 35 | 60 | 35.3 |
| 0.143 | 140 | 85 | 150 | 36.9 | ضعیف | 1 | 0.129 | 1.429 | 0.111 | 60 | 30 | 60 | 47.94 |
| 0.143 | 105 | 70 | 135 | 43.51 | ضعیف | 1 | 0.129 | 1.714 | 0.111 | 50 | 30 | 50 | 57.39 |
| 0.143 | 105 | 60 | 105 | 19.18 | ضعیف | 1 | 0.14 | 1.6 | 0.143 | 55 | 30 | 65 | 28.27 |
| 0.143 | 75 | 45 | 90 | 24.84 | ضعیف | 1 | 0.14 | 2 | 0.143 | 45 | 25 | 60 | 33.76 |
| 0.143 | 60 | 40 | 90 | 28.77 | ضعیف | 1 | 0.14 | 2.4 | 0.143 | 40 | 25 | 60 | 37.06 |
| 0.111 | 120 | 70 | 120 | 21.96 | ضعیف | 1 | 0.15 | 1.333 | 0.111 | 90 | 50 | 80 | 26.63 |
| 0.111 | 95 | 60 | 110 | 26.83 | ضعیف | 1 | 0.15 | 1.667 | 0.111 | 60 | 35 | 75 | 34.63 |
| 0.143 | 100 | 70 | 160 | 15.98 | ضعیف | 1 | 0.15 | 2 | 0.111 | 50 | 30 | 70 | 40.03 |
| 0.143 | 85 | 60 | 150 | 17.49 | ضعیف | 1 | 0.18 | 2 | 0.111 | 80 | 50 | 120 | 22.35 |
| 0.111 | 170 | 110 | 225 | 16.84 | ضعیف | 1 | 0.18 | 2.4 | 0.111 | 70 | 45 | 110 | 24.2 |

ادامه جدول ۱۰

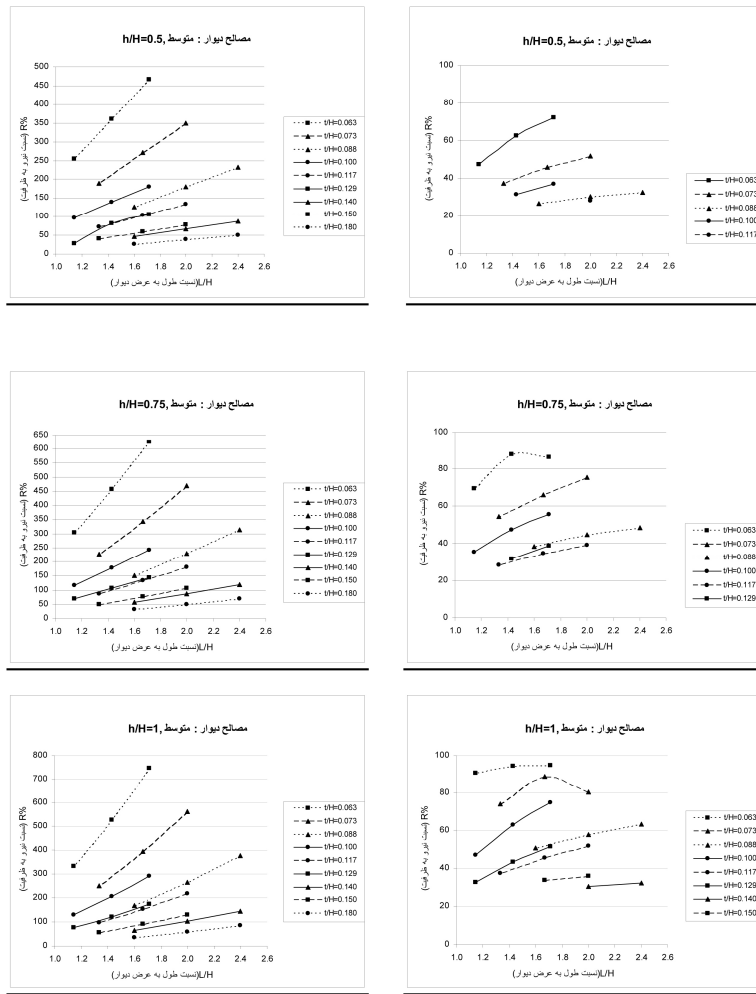
| مصالح | h/H | t/H | L/H | tm/t | top | bot. | lat. | R.a.r% | مصالح | h/H | t/H | L/H |
|-------|------|-------|-------|-------|-----|------|------|--------|-------|------|-------|-------|
| خوب | 0.5 | 0.063 | 1.143 | 0.227 | 105 | 52 | 90 | 44.24 | متوسط | 0.75 | 0.088 | 1.6 |
| خوب | 0.5 | 0.063 | 1.429 | 0.227 | 70 | 35 | 75 | 57.04 | متوسط | 0.75 | 0.088 | 2 |
| خوب | 0.5 | 0.063 | 1.714 | 0.227 | 60 | 35 | 70 | 67.45 | متوسط | 0.75 | 0.088 | 2.4 |
| خوب | 0.5 | 0.073 | 1.333 | 0.227 | 120 | 60 | 120 | 19.86 | متوسط | 0.75 | 0.1 | 1.143 |
| خوب | 0.5 | 0.073 | 1.667 | 0.227 | 90 | 50 | 105 | 35.28 | متوسط | 0.75 | 0.1 | 1.429 |
| خوب | 0.5 | 0.073 | 2 | 0.227 | 75 | 45 | 100 | 47.08 | متوسط | 0.75 | 0.1 | 1.714 |
| خوب | 0.5 | 0.088 | 2 | 0.227 | 135 | 95 | 225 | 33.73 | متوسط | 0.75 | 0.117 | 1.333 |
| خوب | 0.5 | 0.088 | 2.4 | 0.227 | 100 | 75 | 190 | 33.05 | متوسط | 0.75 | 0.117 | 1.667 |
| خوب | 0.75 | 0.063 | 1.143 | 0.227 | 70 | 32 | 52 | 66.81 | متوسط | 0.75 | 0.117 | 2 |
| خوب | 0.75 | 0.063 | 1.429 | 0.227 | 52 | 28 | 45 | 84.94 | متوسط | 0.75 | 0.129 | 1.429 |
| خوب | 0.75 | 0.063 | 1.714 | 0.341 | 35 | 25 | 45 | 78.83 | متوسط | 0.75 | 0.129 | 1.714 |
| خوب | 0.75 | 0.073 | 1.333 | 0.227 | 75 | 40 | 70 | 51.41 | متوسط | 1 | 0.063 | 1.143 |
| خوب | 0.75 | 0.073 | 1.667 | 0.227 | 60 | 30 | 60 | 62.8 | متوسط | 1 | 0.063 | 1.429 |
| خوب | 0.75 | 0.073 | 2 | 0.227 | 50 | 30 | 60 | 70.51 | متوسط | 1 | 0.063 | 1.714 |
| خوب | 0.75 | 0.088 | 1.6 | 0.227 | 90 | 50 | 110 | 36.51 | متوسط | 1 | 0.073 | 1.333 |
| خوب | 0.75 | 0.088 | 2 | 0.227 | 70 | 45 | 100 | 41.35 | متوسط | 1 | 0.073 | 1.667 |
| خوب | 0.75 | 0.088 | 2.4 | 0.227 | 63 | 40 | 100 | 44.37 | متوسط | 1 | 0.073 | 2 |
| خوب | 0.75 | 0.1 | 1.429 | 0.143 | 140 | 87 | 150 | 43.91 | متوسط | 1 | 0.088 | 1.6 |
| خوب | 0.75 | 0.1 | 1.714 | 0.143 | 105 | 65 | 135 | 51.26 | متوسط | 1 | 0.088 | 2 |
| خوب | 0.75 | 0.117 | 2 | 0.143 | 135 | 90 | 240 | 40.2 | متوسط | 1 | 0.088 | 2.4 |
| خوب | 1 | 0.063 | 1.143 | 0.227 | 55 | 40 | 30 | 80.01 | متوسط | 1 | 0.1 | 1.143 |
| خوب | 1 | 0.063 | 1.429 | 0.341 | 35 | 27 | 34 | 87.1 | متوسط | 1 | 0.1 | 1.429 |
| خوب | 1 | 0.063 | 1.714 | 0.455 | 25 | 20 | 30 | 85.18 | متوسط | 1 | 0.1 | 1.714 |
| خوب | 1 | 0.073 | 1.333 | 0.227 | 60 | 30 | 50 | 66.04 | متوسط | 1 | 0.117 | 1.333 |
| خوب | 1 | 0.073 | 1.667 | 0.227 | 45 | 25 | 45 | 80.65 | متوسط | 1 | 0.117 | 1.667 |
| خوب | 1 | 0.073 | 2 | 0.227 | 35 | 25 | 45 | 68.98 | متوسط | 1 | 0.117 | 2 |
| خوب | 1 | 0.088 | 1.6 | 0.227 | 63 | 37 | 75 | 41.98 | متوسط | 1 | 0.129 | 1.143 |
| خوب | 1 | 0.088 | 2 | 0.227 | 50 | 30 | 70 | 54.42 | متوسط | 1 | 0.129 | 1.429 |
| خوب | 1 | 0.088 | 2.4 | 0.227 | 50 | 25 | 70 | 58.56 | متوسط | 1 | 0.129 | 1.714 |
| خوب | 1 | 0.1 | 1.143 | 0.143 | 150 | 70 | 120 | 44.72 | متوسط | 1 | 0.14 | 2 |
| خوب | 1 | 0.1 | 1.429 | 0.143 | 95 | 55 | 100 | 57.4 | متوسط | 1 | 0.14 | 2.4 |
| خوب | 1 | 0.1 | 1.714 | 0.143 | 90 | 75 | 47 | 68.35 | متوسط | 1 | 0.15 | 1.667 |
| خوب | 1 | 0.117 | 1.667 | 0.143 | 120 | 75 | 150 | 43.07 | متوسط | 1 | 0.15 | 2 |
| خوب | 1 | 0.117 | 2 | 0.143 | 90 | 60 | 140 | 47.82 | ضعیف | 0.5 | 0.063 | 1.143 |
| خوب | 1 | 0.129 | 1.714 | 0.111 | 140 | 95 | 190 | 46.81 | ضعیف | 0.5 | 0.063 | 1.429 |
| متوسط | 0.5 | 0.063 | 1.143 | 0.227 | 70 | 35 | 60 | 47.53 | ضعیف | 0.5 | 0.063 | 1.714 |
| متوسط | 0.5 | 0.063 | 1.429 | 0.227 | 50 | 30 | 50 | 62.59 | ضعیف | 0.5 | 0.073 | 1.333 |
| متوسط | 0.5 | 0.063 | 1.714 | 0.227 | 40 | 30 | 50 | 72.06 | ضعیف | 0.5 | 0.073 | 1.667 |
| متوسط | 0.5 | 0.073 | 1.333 | 0.227 | 75 | 40 | 60 | 37.35 | ضعیف | 0.5 | 0.073 | 2 |
| متوسط | 0.5 | 0.073 | 1.667 | 0.227 | 60 | 30 | 60 | 46.06 | ضعیف | 0.5 | 0.088 | 1.6 |
| متوسط | 0.5 | 0.073 | 2 | 0.227 | 45 | 30 | 60 | 51.91 | ضعیف | 0.5 | 0.088 | 2 |
| متوسط | 0.5 | 0.088 | 1.6 | 0.227 | 90 | 50 | 110 | 26.49 | ضعیف | 0.5 | 0.088 | 2.4 |
| متوسط | 0.5 | 0.088 | 2 | 0.227 | 70 | 45 | 100 | 30.24 | ضعیف | 0.5 | 0.1 | 1.143 |
| متوسط | 0.5 | 0.088 | 2.4 | 0.227 | 60 | 40 | 100 | 32.47 | ضعیف | 0.5 | 0.1 | 1.429 |
| متوسط | 0.5 | 0.1 | 1.429 | 0.143 | 140 | 85 | 150 | 31.55 | ضعیف | 0.5 | 0.1 | 1.714 |
| متوسط | 0.5 | 0.1 | 1.714 | 0.143 | 105 | 70 | 135 | 37.09 | ضعیف | 0.5 | 0.117 | 1.333 |
| متوسط | 0.5 | 0.117 | 2 | 0.143 | 150 | 110 | 260 | 28.13 | ضعیف | 0.5 | 0.117 | 1.667 |
| متوسط | 0.75 | 0.063 | 1.143 | 0.227 | 50 | 25 | 35 | 69.47 | ضعیف | 0.5 | 0.117 | 2 |
| متوسط | 0.75 | 0.063 | 1.429 | 0.227 | 20 | 10 | 20 | 87.96 | ضعیف | 0.5 | 0.129 | 1.429 |
| متوسط | 0.75 | 0.063 | 1.714 | 0.341 | 30 | 10 | 30 | 86.38 | ضعیف | 0.5 | 0.129 | 1.714 |
| متوسط | 0.75 | 0.073 | 1.333 | 0.227 | 50 | 25 | 45 | 54.48 | ضعیف | 0.5 | 0.14 | 2 |
| متوسط | 0.75 | 0.073 | 1.667 | 0.227 | 40 | 20 | 40 | 66.08 | ضعیف | 0.5 | 0.14 | 2.4 |
| متوسط | 0.75 | 0.073 | 2 | 0.227 | 30 | 20 | 40 | 75.75 | ضعیف | 0.5 | 0.15 | 1.667 |

برای به‌سازی لرزه‌ای در حالات بینابین، می‌توان از درون‌بایی خطی بین دو وضعیت مشخص طرفین استفاده کرد.

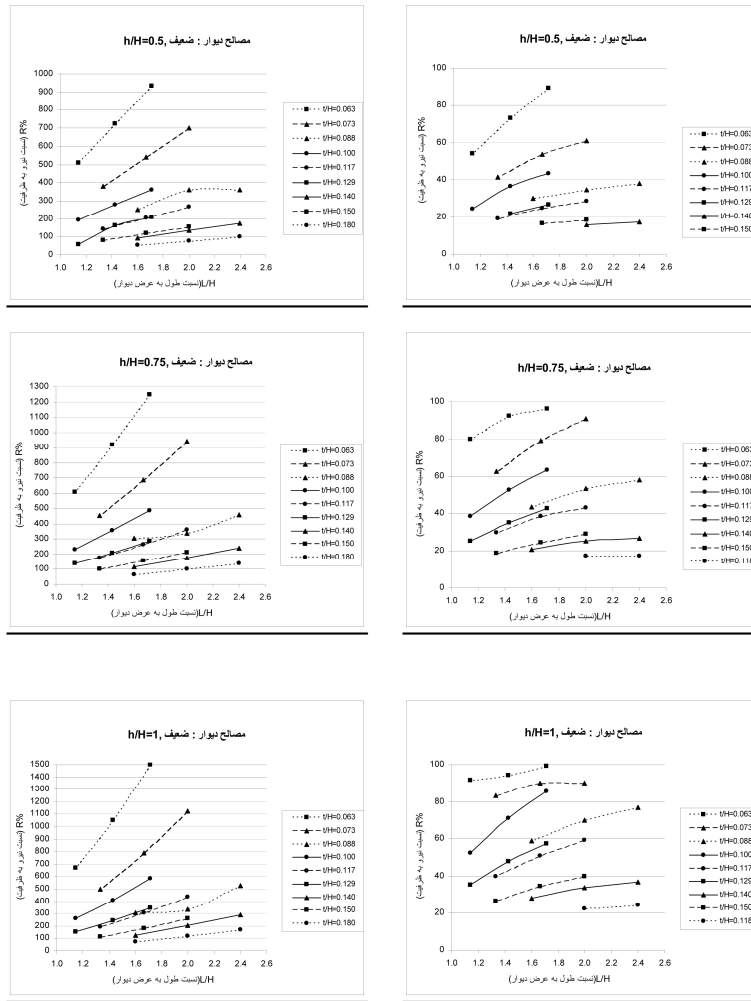
پیوست ۱ نمودارهای نیرو به ظرفیت دیوارهای حایل بنایی در وضعیت موجود و پس از تقویت



شکل ۸. مقادیر R برای دیوارهای با مصالح خوب تقویت شده به ازای مقادیر مختلف h/H ، L/H و t/H (سمت چپ: وضعیت موجود، سمت راست: پس از تقویت)

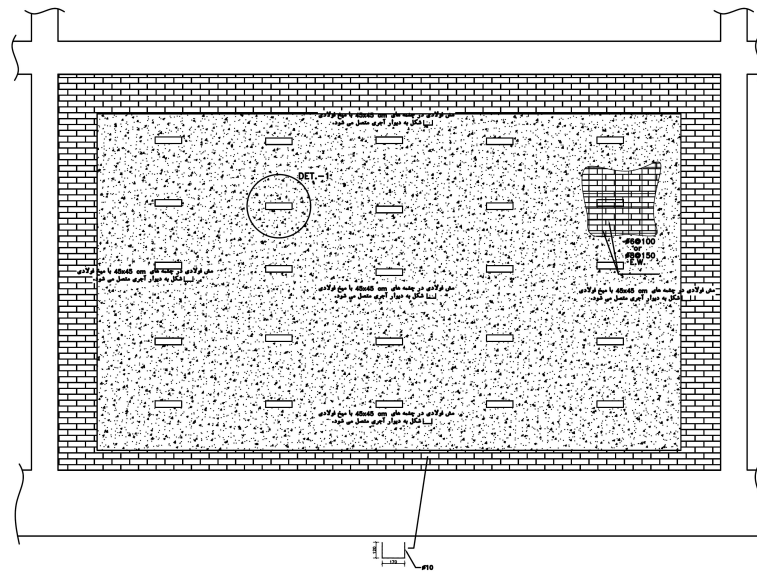


شکل ۹. مقادیر R برای دیوارهای با مصالح متوسط تقویت شده به ازای مقادیر مختلف h/H ، L/H و t/H (سمت چپ: وضعیت موجود، سمت راست: پس از تقویت)



شکل ۱۰. مقادیر R برای دیوارهای با مصالح ضعیف تقویت شده به ازای مقادیر مختلف h/H ، L/H و t/H (سمت چپ: وضعیت موجود، سمت راست: پس از تقویت)

پیوست ۲. جزئیات اجرایی تقویت دیوارهای حایل بنایی با مش فولادی و ملات ماسه سیمان



اتصال برشی به دیوار موجود
Sca: 1/20

