مقاله علمی

علیرضا آذربخت
دکتری مهندسی زلزله
دانشیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اراک

ابراهیم فدایی
دانشجوی دکتری مهندسی زلزله
دانشگاه تربیت مدرس

چالش در برآورد آسیب‌پذیری دیوارهای بنایی غیرمسلح به روش استاتیکی خطی بر اساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود

چکیده

در این تحقیق، نتایج آسیب‌پذیری دیوارهای بنایی غیرمسلح با استفاده از روش استاتیکی خطی فصل هفتم دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه شماره ۳۶۰) با نتایج حاصل از دو منبع معتبر دیگر به صورت مفهومی، مورد قیاس قرار گرفته است. نتایج نشانگر آن است که معیارهای موجود در دستورالعمل در اغلب موارد، غیرمحافظه‌کارانه بوده و پیش‌بینی آسیب‌پذیری لرزه‌ای دیوارهای بنایی غیرمسلح به صورت غیر واقع‌بینانه صورت می‌پذیرد. این مهم ناشی از عدم همخوانی لازم در برآورد میزان نیروی زلزله و مقاومت دیوارها بوده که لزوم تجدید نظر در این فصل از دستورالعمل را ضروری می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: دیوار بنایی غیرمسلح، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، آسیب‌پذیری لرزه‌ای، طراحی بر اساس عملکرد.

A Challenge in Seismic Vulnerability Assessment of Un-Reinforced Masonry Buildings Based on Static Procedure of Iranian Instruction for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings (Standard No. 360)

Abstract

The seismic vulnerability assessment of un-reinforced masonry walls has been investigated in this paper using the linear static analysis procedure of the 'Instruction for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings' code. The results are compared to the results obtained form the FEMA356 guideline. The results show that the Iranian code always produces non-conservative load to resistance ratios. More specifically, no single un-reinforced masonry wall is vulnerable based on the Iranian code criteria. This result comes form the inconsistency in the Iranian code for determining the seismic load and the resistance for the unreinforced masonry walls.

Keywords: Un-reinforced masonry wall, Instruction for seismic rehabilitation of existing buildings, Seismic vulnerability.

مقدمه

آسیب‌پذیری دیوارهای بنایی غیرمسلح در ساختمان‌هایی که تمام یا بخشی از سیستم باربر ثقلی و جانبی آنها از این نوع دیوارها تشکیل شده، باید به‌صورت واقع‌بینانه‌ای مورد بررسی قرار گیرد که در غیر این صورت می‌تواند منجر به بروز آسیب‌های پیش‌بینی نشده و یا تخریب این اعضا شده و به دنبال آن خسارت‌های جبران ناپذیری بوجود آید. بررسی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای دیوارهای بنایی غیرمسلح بر اساس فصل هفتم دستورالعمل انجام می‌گیرد. تمامی فصول دستورالعمل، به جز قسمت نخست فصل هفتم، بر اساس روش طراحی بر اساس عملکرد بوده و تنها روش استاتیکی خطی دیوارهای بنایی غیرمسلح در فصل هفتم دستورالعمل، از روش طراحی بر اساس تنش مجاز بهره می‌گیرد.

یک دیوار بنایی غیرمسلح از یک ساختمان را در نظر بگیرید که وظیفه انتقال قسمتی از بارهای ثقلی شامل بار مرده، زنده و همچنین بار جانبی ناشی از زلزله را بر عهده دارد. مقدار تنش فشاری سهمیه وارد بر سطح فوقانی دیوار در اثر بار مرده و درصدی از بار زنده سقف به صورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$\sigma_{roof} = \sigma_r = \frac{b \times L\,(DL + LL)}{L \times t} \qquad (۱)$$

که در آن DL و LL به ترتیب معرف بارمرده و زنده بر واحد سطح سقف متصل به بالای دیوار، b طول کل دهانه بارگیر دیوار مورد بررسی و L، h، t به ترتیب طول، ارتفاع و ضخامت دیوار می‌باشند.

در صورتی که z فاصله بالای دیوار تا یک مقطع دلخواه افقی از دیوار باشد، کل نیروی محوری وارد بر این مقطع افقی از دیوار (ناشی از بارهای ثقلی انتقالی از طرف سقف به دیوار و وزن خود دیوار واقع بر قسمت فوقانی مقطع مذکور) به صورت رابطه (۲) تعیین می‌شود:

$$W = \sigma_r . L . t + L . t . \rho_w . z \qquad (۲)$$

که در آن ρ_w جرم حجمی دیوار می‌باشد. بر اساس رابطه ۷-۵ دستورالعمل، مقدار تنش برشی مجاز دیوار را می‌توان به صورت رابطه (۳) محاسبه نمود:

$$v_a = 0.1 v_t + 0.15 \sigma_r + 0.15 \rho_w . z \qquad (۳)$$

حداقل نیروی برش پایه ناشی از زلزله را بر اساس رابطه ۷-۲ دستورالعمل به صورت رابطه (۴) می‌توان برآورد نمود. در این رابطه، فرض شده که ساختمان مورد نظر در پهنه با خطر نسبی بسیار زیاد (مانند شهر تهران) واقع است و جزء ساختمان‌های با اهمیت متوسط (مسکونی) محسوب می‌شود[۱].

$$V_{EQ} = 0.1155 (\sigma_r . L . t + L . t . \rho_w . z) \qquad (۴)$$

که با فرض تنش یکنواخت در دیوار، میانگین تنش برشی ناشی از زلزله در دیوار مورد نظر در رابطه (۵) نشان داده شده است.

$$v_{eq} = 0.1155 (\sigma_r + \rho_w . z) \qquad (۵)$$

در صورتی که تنش برشی ایجاد شده در دیوار کمتر از تنش برشی مجاز باشد، دیوار مزبور قابل قبول تلقی می‌شود، که در رابطه (۶) اختلاف این دو تنش محاسبه شده است.

$$\Delta v = v_a - v_{eq} = 0.1 v_t + 0.0345 \sigma_r + 0.0345 \rho_w . z \qquad (۶)$$

با توجه به اینکه v_t، σ_r و $\rho_w z$، همگی مقادیری مثبت هستند، حاصل عبارت فوق در کل ارتفاع دیوار (به ازای همه مقادیر z) مقداری مثبت خواهد بود و به عبارت دیگر بدون توجه به مقدار z و مقاومت برشی ملات، مقدار تنش برشی مجاز، همیشه بیشتر از مقدار تنش برشی ایجاد شده در دیوار بنایی در اثر نیروی جانبی زلزله است. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که براساس دستورالعمل، هیچ دیوار بنایی غیرمسلح به تنهایی آسیب‌پذیر نمی‌باشد که بدیهی است این پیش‌بینی برای یک آیین‌نامه، قابل قبول نمی‌باشد.

البته لازم به ذکر است که وجود سقف صلب در ساختمان می‌تواند باعث انتقال بخشی از نیروهای جانبی (ناشی از اینرسی ایجاد شده از جرم‌های غیرمرتبط) به یک دیوار خاص شده و باعث آسیب‌پذیری آن گردد. لیکن در هرحال، آسیب‌پذیر نبودن یک دیوار بنایی، به صورت مستقل از تمامی پارامترها به خصوص تنش برشی مجاز، منطقی به‌نظر نمی‌رسد.

مقایسه معیار آسیب‌پذیری در دیوارهای تک با مشخصات مختلف

جهت بررسی و مقایسه ضوابط و معیارهای آسیب‌پذیری دیوارهای بنایی غیر مسلح، بر اساس منابع [۲] الی [۴]، مطالعه بر روی دیوارهای منفرد با مشخصات مختلف انجام شده و تأثیر متغیرهای مختلفی چون تغییرات شرایط مصالح، طول، ضخامت دیوار و همچنین میزان بار ثقلی انتقال یافته بر روی دیوار، صورت پذیرفته است.

با بررسی روابط مربوط به تعیین مقاومت جانبی دیوارهای بنایی غیر مسلح در منابع [۲] الی [۴] می‌توان بیان نمود که مشخصات اشاره شده ذیل در تعیین مقاومت دیوار بنایی غیرمسلح و به دنبال آن کفایت باربری جانبی آن می‌تواند مؤثر باشد که یکی از اهداف این مطالعه، بررسی چگونگی و میزان تأثیر هر کدام از این پارامترها بر ظرفیت دیوار بنایی غیر مسلح و معیار آسیب‌پذیری آن می‌باشد.

الف) شرایط مصالح بنایی: شرایط مصالح بنایی از جمله مقاومت برشی ملات و مقاومت فشاری مصالح بنایی که می‌تواند براساس ضوابط منابع [۲] و [۴]، در یکی از سه دسته خوب، متوسط و ضعیف واقع شود. بدیهی است که افزایش کیفیت مصالح بنایی باعث افزایش مقاومت دیوار شده و احتمال کفایت باربری جانبی آن را افزایش می‌دهد لذا در

ادامه یکی از متغیرها، شرایط مصالح بنایی می‌باشد که به سه حالت خوب، متوسط و ضعیف در نظر گرفته می‌شود.

ب) طول دیوار *(L)*: به‌منظور بررسی تأثیر طول دیوار از نسبت بدون بعد طول به ارتفاع دیوار *(L/h)* استفاده گردیده که با فرض ارتفاع ثابت و معمول ۳ متر برای طول دیوار، مقادیر ۱، ۲، ۳ و ۶ متر در نظر گرفته می‌شود. دیوارهای با نسبت *(L/h)* مختلف در جدول (۱) نشان داده شده است.

ج) ضخامت دیوار *(t)*: جهت مطالعه تأثیر ضخامت دیوار از نسبت بدون بعد ارتفاع به ضخامت دیوار *(h/t)* بهره گرفته می‌شود و بدین منظور دو حالت ضخامت مرسوم ۲۲ و ۳۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.

د) میزان بار ثقلی اعمالی به دیوار از طریق سقف متصل به آن: به‌منظور بررسی اثر تغییرات بار ثقلی اعمال شده به دیوار، دو حالت در نظر گرفته شده است. در حالت اول، تیرچه‌های سقف طاق ضربی عمود بر امتداد دیوار قرار گرفته‌اند. بنابراین، بار مرده و زنده نیمی از طول دهانه طرفین دیوار را به دیوار انتقال می‌دهند که با فرض وجود دهانه‌های متعارف به طول ۴ متر در طرفین دیوار، مساحت سهمیه بارگیر دیوار برابر با طول دیوار ضربدر ۴ متر (۲ متر از هر طرف دیوار) در محاسبات درنظر گرفته شده است. در حالت دوم، تیرچه‌های سقف طاق ضربی به موازات امتداد دیوار قرار گرفته است. لذا بار مرده و زنده موجود در نیمی از عرض چشمه آخر سقف طاق ضربی (نیمه فاصله بین تیرچه و دیوار) - با فرض ۱ متر - به دیوار انتقال می‌یابد. بنابراین مساحت سهمیه بارگیر دیوار برابر با طول دیوار ضربدر ۱ متر (۰/۵ متر از هر طرف دیوار) در نظر گرفته شده است.

از وزن بارهای مرده و زنده انتقالی از طبقات بالاتر (در جهت محافظه کارانه) صرف‌نظر شده است یا به عبارت دیگر فرض گردیده که دیوارهای مورد بررسی متعلق به یک ساختمان یک طبقه می‌باشند.

در جدول (۱) کلیه متغیرهای مفروض به صورت خلاصه آورده شده است. با ترکیب متغیرهای مذکور، برای بررسی هرکدام از آنها به طور مجزا، مجموعاً ۶۰ حالت وجود دارد. همچنین در بررسی‌های صورت گرفته در این فصل، فرضیات زیر مورد استفاده واقع شده است:

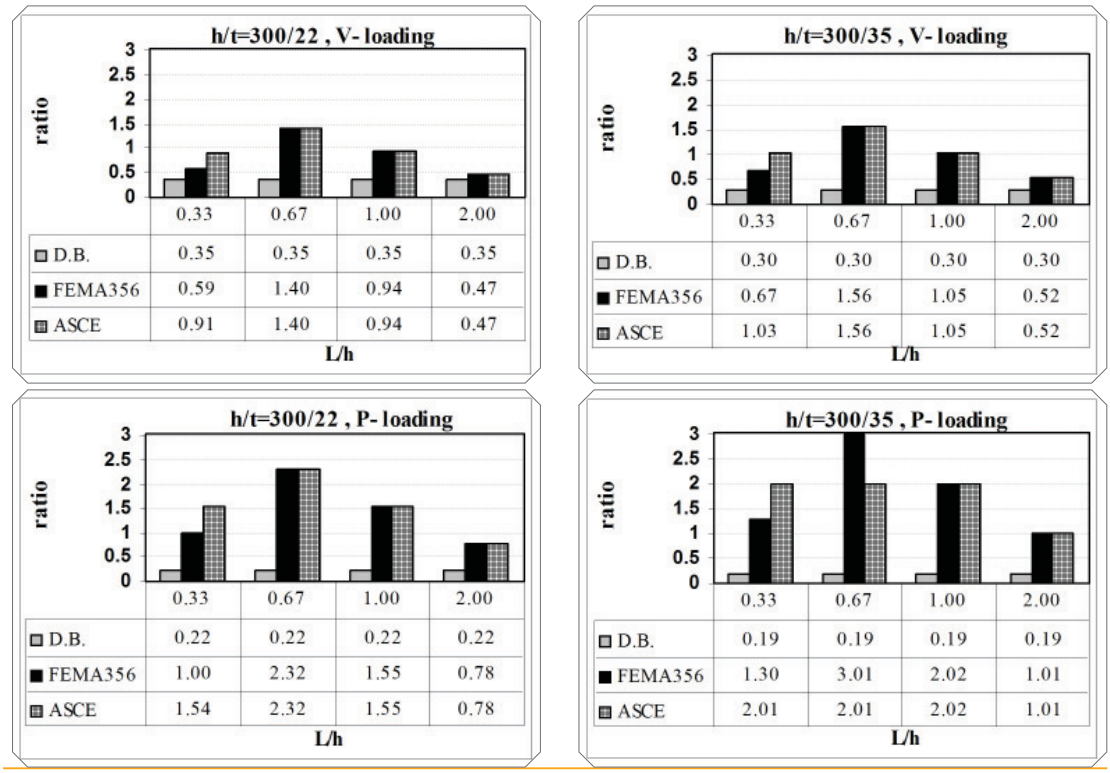
- بار مرده سقف برابر با ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و بار زنده برابر با ۲۰۰ کیلو گرم بر مترمربع باشد.
- ساختمان بنایی در منطقه‌ای با خطر نسبی بسیار زیاد زلزله، واقع گردیده است.
- ساختمان مورد بررسی، ساختمان مسکونی بوده و بر اساس منبع [۱] جزء ساختمان‌های با اهمیت متوسط (معادل ضریب اهمیت واحد) محسوب می‌گردد.
- خاک محل ساختمان از نوع خاک‌های سخت است که از نظر آئین‌نامه ۲۸۰۰ جزء خاک نوع ۲ محسوب می‌شود.
- دیوارهای بنایی از آجر فشاری با ملات ماسه سیمان و اندود گچ به ضخامت ۱ سانتیمتر در هر طرف دیوار تشکیل شده است.
- دو انتهای دیوار بنایی به صورت مقید فرض می‌شود.

جدول ۱- مقادیر متغیرهای مورد مطالعه

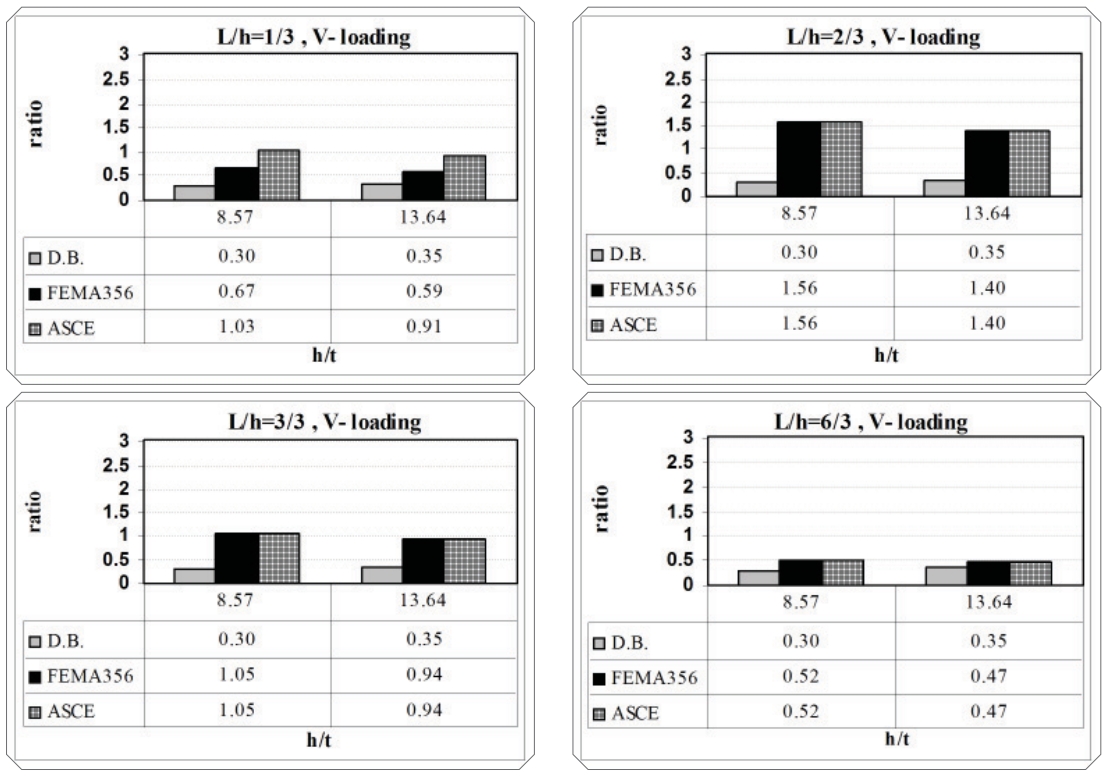
پارامترهای متغیر	مقادیر متغیرها			
شرایط مصالح بنایی	خوب (Good)	متوسط (Fair)		ضعیف (Poor)
نسبت طول به ارتفاع *(L/h)*	1/3	2/3	3/3	6/3
نسبت ارتفاع به ضخامت *(h/t)*	300/22		300/35	
میزان بار ثقلی انتقالی به دیوار	*P*- تیرچه‌های سقف موازی با امتداد دیوار		*V*- تیرچه‌های سقف عمود بر امتداد دیوار	

بررسی ظرفیت باربری جانبی دیوارهای بنایی غیرمسلح

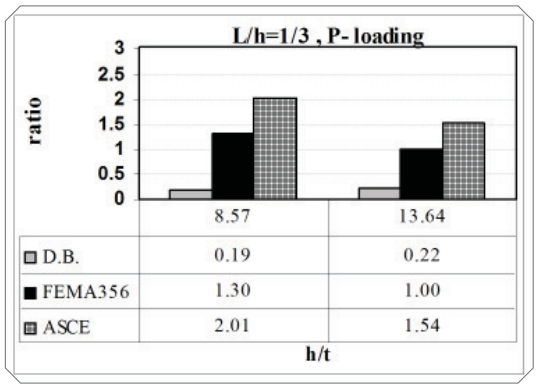
محاسبه و برآورد نسبت نیرو به مقاومت دیوارهای بنایی غیرمسلح و تعیین معیار آسیب‌پذیری آنها طبق ضوابط مشروح منابع[۲] الی [۴] انجام گرفته و ظرفیت باربری دیوارها با مشخصات مختلف براساس آئین‌نامه‌های مذکور در شکل‌های (۱) الی (۳) نشان داده شده است. محور قائم همه نمودارها عبارتست از نسبت نیرو به ظرفیت دیوار، که اگر این مقدار بیشتر از ۱ باشد به منزله عدم کفایت برشی دیوار بنایی می‌باشد. محور افقی نمودارها نیز نشان دهنده نحوه تغییرات پارامتر مورد بررسی در آن نمودار است. در شکل (۱)، تأثیر تغییرات *(L/h)*، در شکل (۲) تأثیر تغییرات *(h/t)* و در شکل (۳) تأثیر تغییرات میزان بار ثقلی بر روی نسبت نیرو به مقاومت دیوار با فرض شرایط مصالح خوب، نشان داده شده است. هرچند که نتایج مربوط به نوع مصالح متوسط و ضعیف در این مقاله آورده نشده، لیکن روندهای مشاهده شده که به صورت خلاصه در بخش بعدی آورده شده است برای مصالح متوسط و ضعیف نیز صادق است.

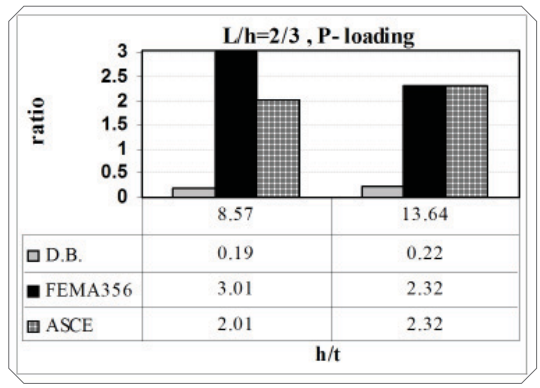


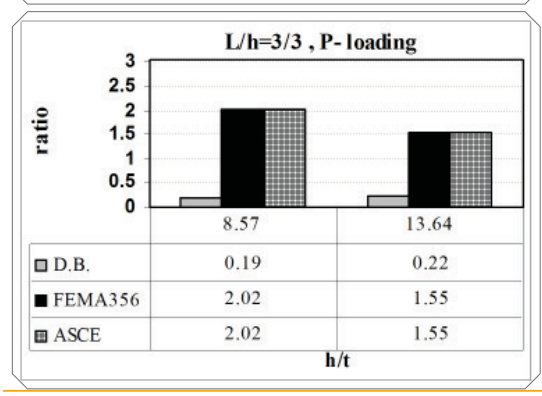
شکل ۱- تأثیر تغییرات *(L/h)* بر روی نسبت نیرو به مقاومت (شرایط مصالح: خوب)

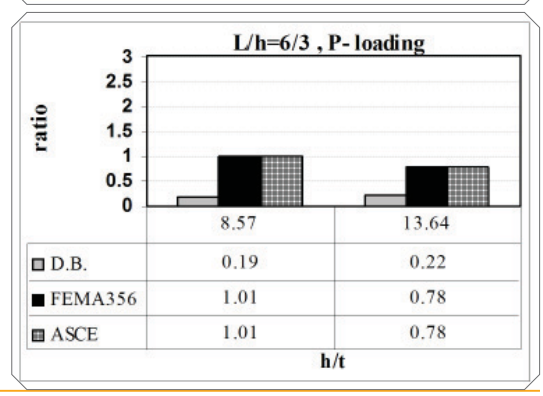


شکل ۲- تأثیر تغییرات *(h/t)* بر روی نسبت نیرو به مقاومت (شرایط مصالح: خوب)

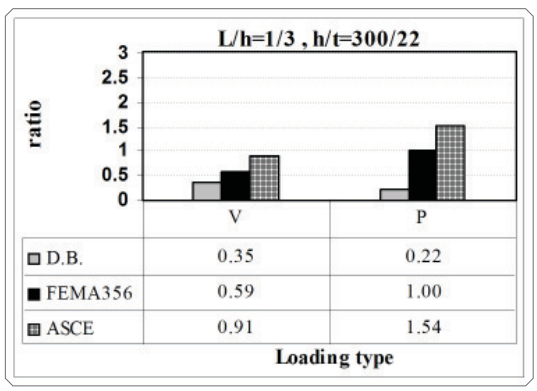


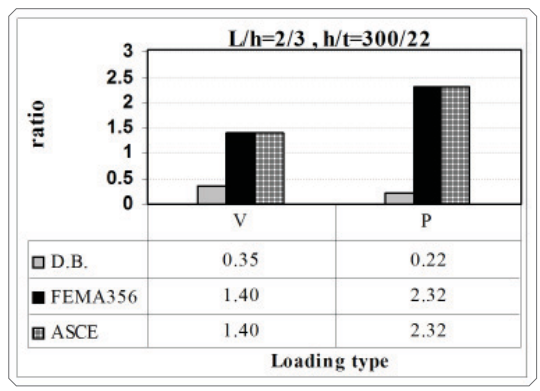


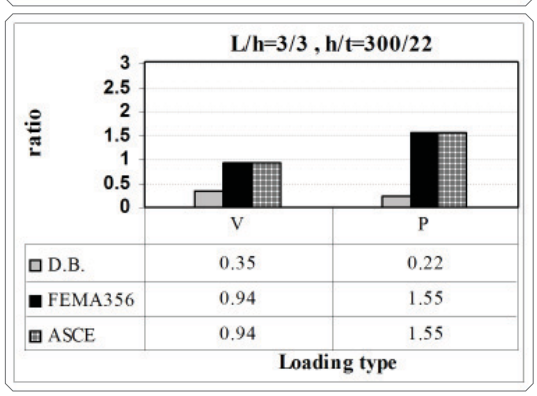


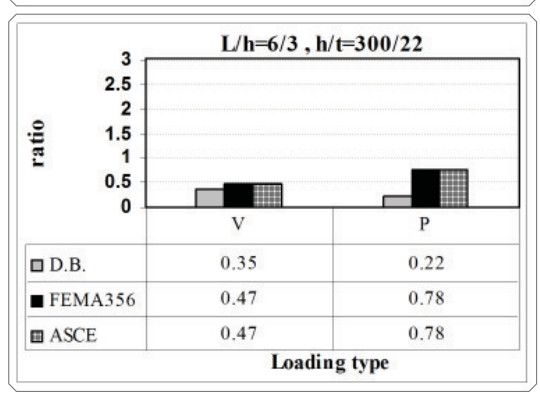


ادامه شکل ۲- تأثیر تغییرات *(h/t)* بر روی نسبت نیرو به مقاومت (شرایط مصالح: خوب)

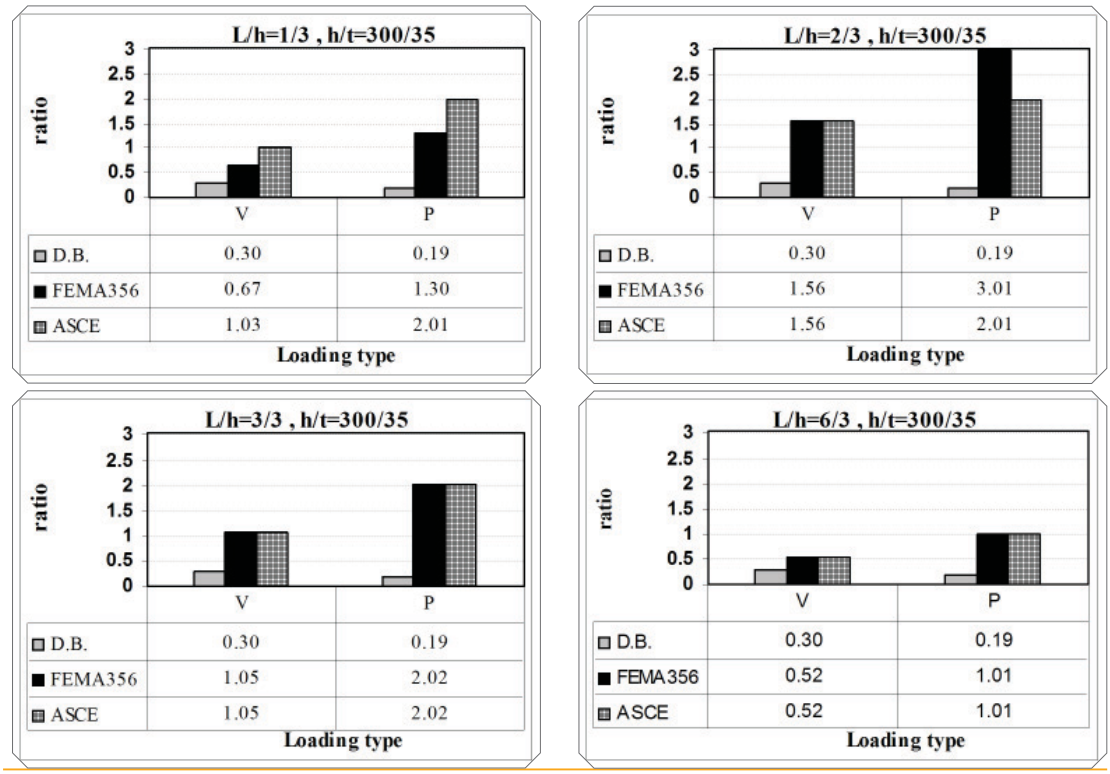








شکل ۳- تأثیر تغییرات مقدار بار ثقلی بر روی نسبت نیرو به مقاومت (شرایط مصالح: خوب)



ادامه شکل ۳- تأثیر تغییرات مقدار بار ثقلی بر روی نسبت نیرو به مقاومت (شرایط مصالح: خوب)

بحث در نتایج

با بررسی شکل‌های (۱) الی (۳) می‌توان به نتایج ذیل دست یافت:

- تغییرات نسبت *(L/h)* تأثیری بر روی میزان نسبت نیرو به مقاومت دیوار طبق دستورالعمل ندارد. در حالی که افزایش آن منجر به کاهش نسبت نیرو به مقاومت دیوار بر اساس منابع [۳] و [۴] می‌گردد.
- براساس منابع [۳] و [۴]، برای نسبت‌های *(L/h)* بزرگتر از ۰/۶۷، با افزایش این نسبت، مقدار نیرو به مقاومت کاهش می‌یابد و زمانی بیشترین مقدار را دارد که نسبت *(L/h)* برابر با ۰/۶۷ باشد و در بیشتر موارد، نسبت نیرو به مقاومت طبق ضوابط این دو مرجع یکسان است به جز در حالتی که این نسبت برابر با ۰/۳۳ است که مقدار نسبت نیرو به مقاومت براساس منبع [۳] بیشتر از منبع [۴] است که در این حالت، مقاومت دیوار توسط مقاومت متناظر بلندشدگی دیوار کنترل می‌گردد که با عنایت به تفاوت مندرج در محاسبه مقاومت بلندشدگی دیوار بین این دو منبع، قابل توجیه می‌باشد.
- نسبت نیرو به مقاومت دیوارهای بنایی غیرمسلح ارزیابی شده براساس دستورالعمل، همواره کمتر از مقدار بدست آمده طبق منابع [۳] و [۴] است که البته این اختلاف در حالتی که *(L/h)* برابر با ۰/۳۳ است و همچنین برای مقادیر *(L/h)* بیشتر از ۰/۶۷، با افزایش مقدار این پارامتر، کاهش می‌یابد.
- در ارزیابی دیوارهای بنایی غیرمسلح طبق دستورالعمل، هیچکدام از دیوارها آسیب‌پذیر تشخیص داده نشد. در حالیکه تعدادی از آنها براساس منابع [۳] و [۴] آسیب‌پذیر می‌باشند که البته در بخش قبلی مقاله حاضر نیز به آن اشاره گردید.
- با افزایش نسبت *(h/t)* (یا برای دیواری با ارتفاع ثابت با کاهش ضخامت) دیوار، نسبت نیرو به مقاومت دیوار بنایی غیرمسلح براساس دستورالعمل افزایش می‌یابد در حالی‌که این نسبت با استفاده از ضوابط منابع [۳] و [۴] کاهش می‌یابد.
- افزایش بار ثقلی ناشی از بارهای مرده و زنده روی دیوار، منجر به افزایش نسبت نیرو به مقاومت دیوار براساس دستورالعمل می‌گردد در حالی‌که این رویه در منابع [۳] و [۴] برعکس است. البته شایان ذکر است که با افزایش

بار ثقلی دیوار، تا زمانی که دیوار به مقاومت فشـــاری خود نرسیده است، باعث افزایش پایداری آن می‌گردد. علت این موضوع، نرخ افزایش بیشـــتر نیروی زلزله بدســـت آمده از دســـتورالعمل نسبت به نرخ افزایش مقاومت جانبی دیوار با افزایش بار ثقلی دیوار اســـت. به عنوان مثال برای دیوارهای بررسی شده فوق با شـــرایط خوب مصالح برای دیوارهای با ضخامت ۲۲ ســـانتیمتر با ۴ برابر شدن عرض بارگیر دیوار، براساس ضوابط دستورالعمل، نیروی جانبی زلزله ۲/۳۶ برابر و مقاومت جانبی آن ۱/۵ برابر می‌گردد لذا نســـبت نیرو به مقاومت، افزایش ۵۷ درصدی خواهد داشت. اما طبق ضوابط منابـــع [۳] و [۴]، نیروی جانبی زلزله ۲/۳۶ برابر و مقاومت جانبی دیوار بنایی حدوداً ۴ برابر می‌گردد. بنابراین نســـبت نیرو به مقاومت آنها، کاهش ۵۹ درصدی را به دنبال خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

دیوارهای بنایی غیرمسلح تک، بر اساس دستورالعمل و منابع [۳] و [۴] مـــورد ارزیابی قرار گرفته و مشـــخص گردید که در بســـیاری از موارد، نتایج حاصل از دســـتورالعمل در راســـتای دو منبـــع دیگر نبوده و غیرمحافظه کارانه می‌باشـــد. بنابراین باتوجه به نتایج حاصله و همچنین حجم قابل توجه پروژه‌های مقاوم‌ســـازی (نظیر مدارس کل کشور) که از این ضوابط بهره می‌برند، بررســـی و بازنگری مفهومـــی در ضوابط فصل هفتم دستورالعمل ضروری به نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی

مؤلفین بر خود لازم می‌دانند که از حمایت‌های مالی دانشـــگاه اراک در قالب پروژه پژوهشی شماره ۸۸/۱۵۱۲ کمال قدردانی را نماید. بدیهی اســـت که تمامی نظرات و نتایج مندرج در این مقاله، نظر مؤلفین بوده و الزاماً نظر دانشگاه اراک نمی‌باشد.

منابع

۱ـ آیین‌نامه طراحی ســـاختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، مرکز تحقیقات ســـاختمان و مسکن، نشـــریه شماره ض-۲۵۳، ویرایش سوم (۱۳۸۴).

۲ـ دســـتورالعمل بهســـازی لـــرزه‌ای ســـاختمان‌های موجـــود. ســـازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشـــور، نشـــریه شـــماره ۳۶۰، ویرایش اول (۱۳۸۱).

3- ASCE. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. Report No. ASCE/SEI 41-06, American Society of Civil Engineers, 1801 Alexander Bell Drive Reston, Virginia 20191, 2006.

4- FEMA. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Report No. FEMA-356, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 2000.