بررسی رفتار استاتیکی غیرخطی و ارائه مدل ماکرو برای تحلیل غیرخطی دیوارهای برشی بتن مسلح سه بعدی

مرتضی حیدری، فرهاد بهنام فر، خرداد ۱۳۹۴

دیوارهای برشی از سیستم‌های مهم و مؤثری هستند که برای مقاومت در برابر بارهای قائم و زلزله در ساختمان‌ها استفاده می‌شوند. بررسی ساختمان‌ها در طی زلزله‌های اخیر، عملکرد موفق این دیوارها را در به حداقل رساندن خسارات وارده نشان می‌دهد. دیوارهای برشی بسته به نسبت ابعادی، رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند. دیوارهایی با نسبت ارتفاع به طول بالا (بیش‌تر از دو)، دیوارهای خمشی یا لاغر نامیده می‌شوند. دیوارهایی با نسبت ارتفاع به طول پایین (کم‌تر از یک)، دیوارهای کوتاه یا چاق نامیده می‌شوند و در صورتی که نسبت ابعادی دیوار مابین یک و دو باشد، دیوار خمشی-برشی و هر دو رفتار خمشی و برشی در این دیوارها قابل رخ دادن است. نسبت ارتفاع به طول دیوارهای برشی در ساختمان‌های بلند، در نسبت ارتفاع به طول دیوارهای برشی در ساختمان‌های بلند حدود ۱۰ الی ۱۲ می‌باشد. از این رو، این دیوارها در زمره‌ی دیوارهای لاغر یا خمشی قرار می‌گیرند و تغییر شکل‌های برشی در این دیوارها ناچیز است. جهت پیش بینی رفتار لرزه‌ای، آنالیز و طراحیِ این عناصر سازه‌ای نیاز به یک مدل تحلیلی مبسوط و کارا می‌باشد که بتواند تا حد ممکن بازتاب دهنده‌ی رفتار واقعی سازه باشد. این مدل‌های تحلیلی بایستی قابلیت دخیل کردن عوامل مؤثر و مشخصه‌های اصلی پاسخ دیوارهای برشی را دارا باشند. هم‌چنین مدل‌های مذکور، بایستی توانایی شبیه سازی رفتارهای مهم غیر خطی دیوار را نیز داشته باشند. سه روش کلی در مدل‌سازی این دیوارها شامل روش مدل‌سازی میکرو یا مقیاس کوچک، مزو یا مقیاس متوسط و ماکرو یا مقیاس بزرگ مرسوم می‌باشد. بسیاری از تحقیقات انجام گرفته تا به امروز، بر دیوارهایی با مقطع مستطیلی تمرکز کرده و مقاطع غیر مستطیلی و بال‌دار کم‌تر مد نظر قرار گرفته‌اند؛ هم‌چنین در آیین نامه‌ها و دستورالعمل‌های موجود نیز بند مشخصی درباره‌ی دیوارهایی با مقطع غیر مستطیلی آورده نشده است. این در حالی است که عملکرد دیوارهای بال‌دار به دلیل مشارکت بال، بهتر از عملکرد دیوارهای مستطیل شکل است. از این رو در تحقیق حاضر، تمرکز بر تحلیل و مدل‌سازی رفتار دیوارهای برشی بلند با مقطع غیر مستطیلی شامل مقاطع L شکل، T شکل و H شکل است. هم‌چنین سعی شد مدلی ماکرو بر مبنای پلاستیسیته متمرکز، جهت تحلیل و پیش بینی رفتار دیوارهای برشی سه بعدی ارائه گردد به گونه‌ای که رفتار خطی دیوار پیش از ترک خوردگی نیز مد نظر قرار گرفته شود. بدین منظور در بدو امر، از روش اجزاء محدود (میکرو) در نرم افزار Abaqus 6.12 و از روش فایبر (مزو) در نرم افزار Opensees 2.4.0 جهت تحلیل استاتیکی غیر خطی دیوارهای برشی استفاده شد. به منظور بررسی و ارزیابی صحت نتایج این دو روش مدل‌سازی، سه نمونه دیوار برشی بتن مسلح آزمایشگاهی انتخاب و نتایج حاصل مقایسه شدند. نتایج بیان‌گر آن است که آنالیز به روش مدل‌سازی فایبر به مراتب سریع‌تر از آنالیز به روش اجزاء محدود دیوارهای برشی بلند است. هم‌چنین مدل‌سازی به روش فایبر دقت قابل قبولی در تحلیل دیوارهای برشی بتن مسلح بلند از خود نشان می‌دهد. با علم به اینکه، مدل‌های ساخته شده به روش اجزاء محدود و فایبر با اطلاعات دقیق و صحیحی از رفتار محلی همراه هستند، امّا پیچیدگی و زمان‌بر بودن این روش‌ها و هم‌چنین در پاره‌ای از موارد، عدم نیاز به اطلاعات دقیق محلی و لزوم پیش بینی رفتار دیوارها در حالت کلی محققین را بر آن داشت که روش‌های مدل‌سازی ماکرو را مورد توجه قرار دهند. به همین دلیل سعی بر آن شد که رفتار غیرخطی دیوار به روش مدل‌سازی ماکرو شبیه سازی و پیش بینی گردد. در این مدل‌سازی، دیوار برشی با دو عضو، فنر دورانی در پای دیوار و عضو الاستیک مدل می‌شود. قسمت الاستیک برابر با طول دیوار می‌باشد و فنر چرخشی در پای دیوار جهت مدل‌سازی رفتار غیرخطی دیوار استفاده می‌شود. در این حالت، رفتار غیر خطی دیوار، به صورت متمرکز در فنر پای دیوار مدل می‌شود. پارامترهای مدل ماکروی پیشنهاد شده به مشخصات هندسی دیوار و مشخصات مکانیکی مصالح مورد استفاده در آن وابسته می‌باشد. پس از تعیین پارامترهای مدل مذکور، سعی شد عوامل مؤثر بر آنها شناسایی و رابطه‌ای صریح جهت تعیین پارامترها ارائه شود. بار محوری فشاری وارد بر دیوار، شکل

سطح مقطع عرضی دیوار، درصد آرماتور طولی و نسبت لاغری دیوار از عوامل مؤثر شناخته شدند. با تغییر این عوامل در بیش از ۴۶۰ نمونه دیوار، تأثیر هر یک مورد بررسی قرارگرفت و رابطه‌ای جهت تعیین این پارامترها ارائه شد. از نقاط قوت این مدل، کارایی و قابلیت کاربرد آن در دیوارهای مستطیل شکل و دیوارهایی با مقاطع بال‌دار می‌باشد. در نهایت، صحت و دقت مدل عرضه شده با استفاده از نتایج آزمایشگاهی تأیید شد. هم‌چنین جهت اثبات کارایی و دقت مدل ارائه شده، نتایج حاصل با نتایج حاصل از دستور العمل بهسازی ۳۶۰ نیز مقایسه شد.

کلمات کلیدی:

دیوارهای برشی بلند سه بعدی، دیوارهای برشی با مقاطع بال‌دار، مدل‌های با مقیاس بزرگ (ماکرو)، مفصل پلاستیک، لنگر خمشی تسلیم معادل.