

ارزیابی اثر انعطاف پذیری دیافراگم در سیستم‌های کف نوین مورد استفاده در ساختمان‌های شهری

حامد ایوانی (نویسنده مسئول)^۱، محمدرضا حبیبی^۲

^۱ عضو هیئت علمی، گروه عمران، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران H.eivani@iauksh.ac.ir

^۲ عضو هیئت علمی، گروه عمران، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران M.r.habibi@iauksh.ac.ir

چکیده

امروزه سقف‌های نوین متنوعی در حال عرضه به صنعت ساخت‌وساز هستند که از نظر فناوری ساخت، طول دهانه مورد استفاده، سرعت و هزینه اجرا، نسبت به سقف‌های متداول دارای مزیت هستند و اقبال عمومی به آن‌ها روز به روز در حال افزایش است. باین حال عملکرد لرزه‌ای این سقف‌ها در زلزله و خصوصاً نقش آن‌ها به عنوان دیافراگم لرزه‌ای، یکی از موضوعات چالش برانگیزی است که نیازمند بررسی و تحقیقات جدی است. با توجه به این که انعطاف‌پذیری دیافراگم لرزه‌ای سقف‌ها به صورت نسبت سختی درون صفحه‌ای دیافراگم به سختی المان‌های باربر جانبی سازه سنجیده می‌شود، بنابراین میزان انعطاف‌پذیری دیافراگم سقف نه تنها وابسته به مشخصات سقف و سختی درون صفحه‌ای آن است، بلکه به مقدار بسیار زیادی به میزان ورود المان‌های باربر جانبی به حوزه غیرخطی وابسته است. بر این اساس، شدت زلزله نیز می‌تواند نقش مهمی در درجه انعطاف‌پذیری دیافراگم لرزه‌ای و عملکرد لرزه‌ای سازه در اثر انعطاف‌پذیری دیافراگم داشته باشد. در این مطالعه اثرات ترکیبی شدت زلزله و انعطاف‌پذیری دیافراگم بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها بررسی شده است. مدل‌های تحلیلی مورد استفاده در این تحقیق، ساختمان‌های یک طبقه با پلان متقارن و دیوارهای برشی بتن‌آرمه بودند. اگرچه به سیستم کف مورد استفاده در این تحقیق به طور صریح اشاره نشده است، اما طیف وسیعی از انعطاف‌پذیری دیافراگم سقف از کاملاً صلب تا کاملاً انعطاف‌پذیر در نظر گرفته شده‌اند، به طوری که نتایج این تحقیق قابل تعمیم به طیف وسیعی از سیستم‌های مقاوم در برابر بار جانبی و همچنین سیستم‌های کف نوین است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در شدت‌های مختلف زلزله، پاسخ سازه‌های با دیافراگم انعطاف‌پذیر می‌تواند واقعاً متفاوت از پاسخ‌های سازه‌های مشابه با دیافراگم صلب باشد و شایسته است که طراحان سازه در استفاده از سقف‌های نوین حساسیت و دقت بیشتری داشته باشند.

واژه‌های کلیدی

سیستم‌های کف نوین، دیافراگم لرزه‌ای، انعطاف‌پذیری سقف، رفتار لرزه‌ای، ساختمان‌های بتن‌آرمه

دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

۱. مقدمه

امروزه سقف‌های نوین متنوعی در حال عرضه به صنعت ساخت‌وساز هستند که از نظر فناوری ساخت، طول دهانه مورد استفاده، سرعت و هزینه اجرا، نسبت به سقف‌های متداول دارای مزیت هستند و اقبال عمومی به آن‌ها روز به روز در حال افزایش است. باین حال عملکرد لرزه‌ای این سقف‌ها در زلزله و خصوصاً نقش آن‌ها به عنوان دیافراگم لرزه‌ای، یکی از موضوعات چالش‌برانگیزی است که نیازمند بررسی و تحقیقات جدی است. ارزیابی قابل اعتماد سختی درون صفحه‌ای دیافراگم‌های لرزه‌ای در طول زمین لرزه، یک مسئله مهم برای توزیع صحیح نیروهای اینرسی در بین عناصر مقاوم در برابر جانبی سازه است. فرض صلبیت کامل درون صفحه‌ای دیافراگم یکی از فرضیاتی است که به خاطر نزدیک بودن به واقعیت در بسیاری از سازه‌ها و سادگی محاسبات از یک طرف، و کاهش تعداد درجات آزادی دینامیکی و کاهش هزینه محاسباتی از طرف دیگر، به طور گسترده در طراحی‌های معمول بکار گرفته می‌شود. باین حال شواهد متعددی از زلزله‌های گذشته ناکارآمدی این فرض را در بسیاری دیگر از ساختمان با سقف‌های مختلف را نشان داده‌اند [۱-۴]. در یک مطالعه پارامتری Tena-Colunga و همکارانش [۵] به ارزیابی اثر رفتار دیافراگم‌ها (صلب، نیمه صلب و انعطاف‌پذیر) بر پاسخ ساختمان‌های شهری پرداختند. در مقاله آن‌ها، تمرکز به سه عامل اثرگذار بر انعطاف‌پذیری دیافراگم‌ها بود: (الف) نوع سیستم کف، (ب) نسبت ابعادی پلان سازه و (ج) طول دهانه دیافراگم. در آن تحقیق، چندین نوع مختلف سیستم کف از جمله دال‌های مجوف، سقف تیرچه‌بلوک، عرشه‌های فولادی و دال‌های تخت با نسبت‌های ابعادی مختلف (A/B=1.0, 1.5, 2.0, 2.25, 2.5, 3.0, 3.5, 3.75, 4.0, 4.5) مورد بررسی قرار گرفتند. طول دهانه دیافراگم‌ها در سازه‌های مورد بررسی ۶، ۱۰ و ۱۵ متر انتخاب شدند. این مطالعه نشان داد که یک سیستم کف که مطابق آیین‌نامه‌های طراحی رایج برای مقابله با بارهای ثقلی طرح می‌شود، می‌تواند منجر به طرح یک دیافراگم لرزه‌ای با رفتار نیمه انعطاف‌پذیر/نیمه صلب گردد و این مسئله به ویژه در سقف‌های با دهانه‌های بیش از ۱۰ متر و با نسبت‌های ابعادی بیش از ۲.۲۵ (A/B ≥ 2.25) حائز اهمیت است. اگرچه سیستم باربر جانبی سازه‌های مورد بررسی در تحقیق مذکور از نوع قاب خمشی بودند، اما ساختمان‌های با سیستم‌های باربر جانبی سخت‌تر مانند دیوارهای برشی و سیستم‌های مهاربندی، به طور بالقوه حتی می‌توانند شرایط بدتری را در خصوص انعطاف‌پذیری دیافراگم لرزه‌ای داشته باشند [۶-۸] و پاسخ‌های آن‌ها در مقایسه با پاسخ سازه‌های مشابه با دیافراگم صلب، می‌تواند غیرمحافظة کارانه باشد. همچنین انواع دیگری از کف‌های نوین در سراسر دنیا بکار گرفته می‌شوند که به طور ذاتی سختی درون صفحه‌ای کمتری نسبت به سیستم‌های کف فوق‌الذکر دارند [۹-۱۲]. از نقطه نظر دیگر، درجه انعطاف‌پذیری دیافراگم نه تنها وابسته به نوع سیستم کف است، بلکه به پارامترهای مختلف دیگری مانند ضخامت دیافراگم [۷، ۹، ۱۳-۱۵]، نسبت سختی دیافراگم به المان‌های باربر جانبی [۹، ۱۳-۱۵]، روش طراحی سیستم باربر جانبی [۱۶، ۱۷]، نسبت ابعادی پلان [۵، ۷، ۱۸، ۱۹]، طول دهانه دیافراگم‌ها [۵، ۲۰]، ارتفاع طبقات [۷]، تعداد طبقات ساختمان [۷، ۲۰، ۲۱]، تعداد دهانه‌های سازه [۸، ۲۱] و خروج از مرکزیت جرم، سختی و مقاومت در پلان سازه [۷، ۱۵، ۲۲] وابسته است. بنابراین با توجه به تأثیرگذاری پارامترهای متعدد در موضوع انعطاف‌پذیری و رفتار دیافراگم لرزه‌ای، پیش قضاوت در مورد درجه انعطاف‌پذیری دیافراگم سازه بدون مدل‌سازی دقیق اجزاء محدود سازه و دیافراگم آن به طور هم‌زمان (با هزینه محاسباتی بالا) بسیار سخت و حتی غیرممکن است. تحقیق در مورد اثرات انعطاف‌پذیری دیافراگم بر رفتار لرزه‌ای سازه‌ها یکی از مسائل مهمی دیگری است که توجه محققان بسیاری را در طول نیم قرن اخیر به خود معطوف کرده است. برخی از موضوعات مهمی که در پیشینه پژوهشی موضوع مورد بررسی قرار گرفته‌اند عبارت‌اند از: دسته‌بندی سازه‌ها بر مبنای درجه انعطاف‌پذیری دیافراگم و تعیین درجه بحرانی انعطاف‌پذیری دیافراگم به طوری که منجر به پیشینه تقاضاهای لرزه‌ای در سازه شوند [۵، ۹، ۱۴، ۱۵، ۲۳]، اثرات انعطاف‌پذیری دیافراگم بر مشخصات دینامیکی سازه‌ها (پریودها، اشکال مودی و ضرایب مشارکت مودی ارتعاش آزاد) [۸، ۲۱]، نحوه توزیع نیروهای لرزه‌ای بین المان‌های باربر جانبی [۲۳، ۲۹، ۳۰]، ارزیابی عملکردی سازه‌های با دیافراگم انعطاف‌پذیر [۳۱]، مطالعات آزمایشگاهی بر روی انواع دیافراگم‌های لرزه‌ای [۱۸، ۳۲-۳۷]، روش‌های مدل‌سازی و روش‌های ساده‌سازی برای اعمال اثرات انعطاف‌پذیری دیافراگم‌ها، سازه‌های نامتقارن در پلان با دیافراگم انعطاف‌پذیر [۶، ۱۳، ۱۵، ۲۲، ۴۰]، اتصالات بین دیافراگم انعطاف‌پذیر و سیستم باربر جانبی، به ویژه در سازه‌های با مصالح بنایی [۳۶، ۳۷]، تهیه منحنی شکنندگی در سازه‌های با دیافراگم انعطاف‌پذیر [۴۱]، رفتار غیرخطی دیافراگم‌های لرزه‌ای و استفاده از دیافراگم‌های لرزه‌ای به عنوان فیوز شکل‌پذیری [۴۲-۴۴]. علاوه بر آیین‌نامه‌های لرزه‌ای تنها دستورالعمل‌های کلی را در مورد سازه‌های با دیافراگم انعطاف‌پذیر ارائه می‌دهند. اغلب آیین‌نامه‌های لرزه‌ای برای طبقه‌بندی سازه‌ها

دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

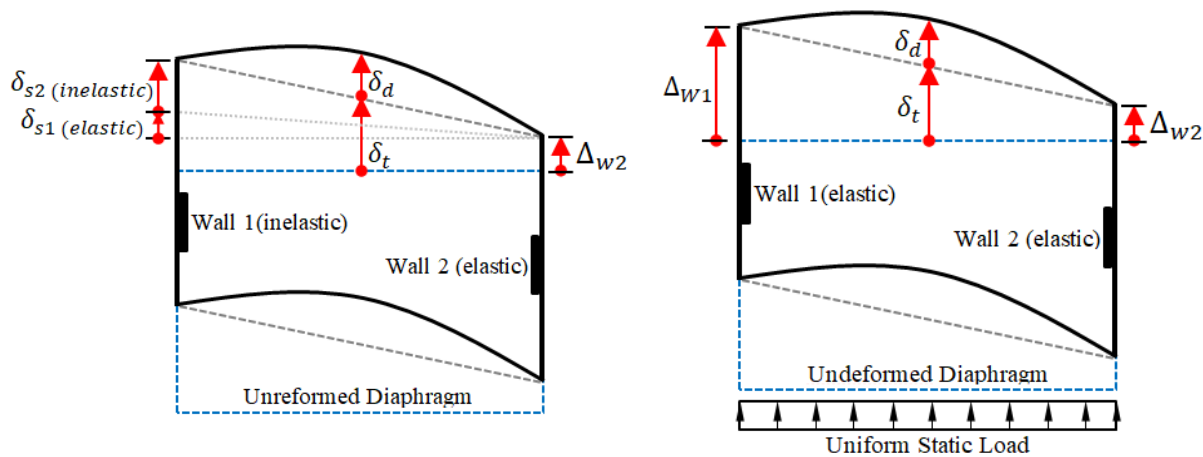
12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

بر مبنای انعطاف پذیری دیافراگم آن‌ها از شاخصی به نام انعطاف پذیری استاتیکی (γ_s) استفاده می‌کنند [۴۲-۵۲]. طبق رابطه ۱، این شاخص به صورت نسبت حداکثر تغییر شکل دیافراگم (δ_d) به تغییر شکل متوسط المان‌های باربر جانبی متصل به دیافراگم (δ_t) تحت بارگذاری گسترده یکنواخت در لبه دیافراگم تعریف می‌شود (شکل ۱-الف). لازم به ذکر است که در محاسبه شاخص انعطاف پذیری استاتیکی تنها پاسخ المان‌های باربر جانبی در حوزه الاستیک لحاظ می‌گردند.

$$\gamma_s = \frac{\delta_d}{\delta_t}; \delta_t = 0.5(\Delta_{w1} + \Delta_{w2}) \quad (1)$$

طبق آیین‌نامه‌های لرزه‌ای، برای شاخص انعطاف پذیری استاتیکی کمتر از ۰.۵ ($\gamma_s \leq 0.5$)، دیافراگم کاملاً انعطاف پذیر در نظر گرفته می‌شود و برای شاخص انعطاف پذیری استاتیکی بیشتر از ۲ ($\gamma_s \geq 2.0$)، دیافراگم کاملاً صلب در نظر گرفته می‌شود. بین این دو محدوده ($0.5 < \gamma_s < 2.0$) به عنوان دیافراگم نیمه صلب یا نیمه انعطاف پذیر طبقه بندی می‌گردد. اگرچه استفاده از این طبقه بندی ممکن است ساده به نظر برسد، اما توجیحات منطقی برای این بند از آیین‌نامه‌های لرزه‌ای مبهم بوده و بیشتر بر مبنای قضاوت مهندسی شکل گرفته است [۵، ۹، ۱۴، ۱۵، ۳۰، ۳۵]. همان‌طور که از معادله (۱) پیداست، شاخص انعطاف پذیری استاتیکی غالباً انعکاس دهنده تغییر شکل خمشی دیافراگم لرزه‌ای (δ_d) است (شکل ۱-الف). بنابراین، این شاخص رفتار غیرخطی المان‌های باربر جانبی سازه و همچنین تغییر شکل‌های برشی دیافراگم در اثر رفتار غیرخطی المان‌های باربر جانبی سازه (δ_{s2}) را در نظر نمی‌گیرد (شکل ۱-ب).



شکل ۱. تغییر شکل برشی دیافراگم (ب)

شکل ۱. الف) تعریف انعطاف پذیری دیافراگم لرزه‌ای

شکل ۱. تغییر شکل دیافراگم لرزه‌ای (بدون دوران)

از بحث فوق می‌توان نتیجه گرفت که طبقه بندی انعطاف پذیری دیافراگم‌های لرزه‌ای تنها بر اساس تحلیل استاتیکی در حوزه الاستیک می‌تواند بسیار غیردقیق باشد. بنابراین، نیاز به بررسی کمی ترکیب اثرات انعطاف پذیری دیافراگم و شدت زلزله بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها کاملاً مشهود است. این تحقیق به بررسی این موضوع در سازه‌های کاملاً متقارن در پلان و بدون پاسخ پیچشی می‌پردازد. از آنجاکه انعطاف پذیری دیافراگم بیشترین اثرات منفی را بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌های یک طبقه با تعداد دهانه‌های کمتر را دارد [۷، ۲۰]، این مقاله بر پاسخ لرزه‌ای این سازه‌ها متمرکز است. باین حال نتایج این تحقیق قابل تعمیم به سایر ساختمان‌های چندطبقه و خصوصاً سازه‌های کوتاه مرتبه است. همان‌گونه که پیش‌تر ذکر شد، درجه انعطاف پذیری دیافراگم‌ها بسته به مشخصات سازه‌ای می‌تواند بسیار متغیر باشد، بنابراین محدوده وسیعی از درجات انعطاف پذیری از کاملاً صلب تا کاملاً انعطاف پذیر برای دیافراگم‌ها در این تحقیق در نظر گرفته شدند. این میزان از وسعت انعطاف پذیری‌های در نظر گرفته شده در این تحقیق می‌تواند محدوده وسیعی از سیستم‌های کف متداول و کف‌های نوین و همین‌طور سیستم‌های سازه‌ای مختلف با نسبت‌های ابعادی متفاوت در پلان را پوشش داده و نتایج این تحقیق را از جنبه علمی قابل تعمیم کند.

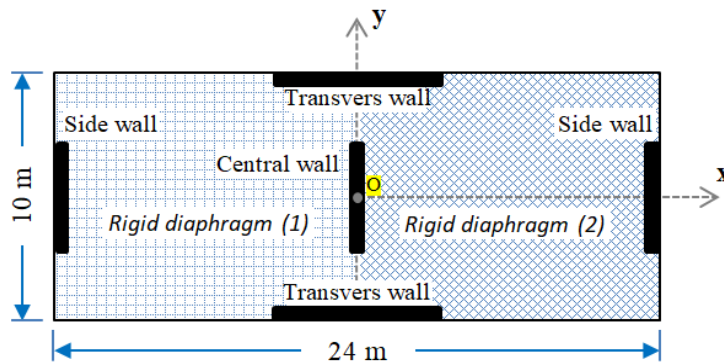
دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

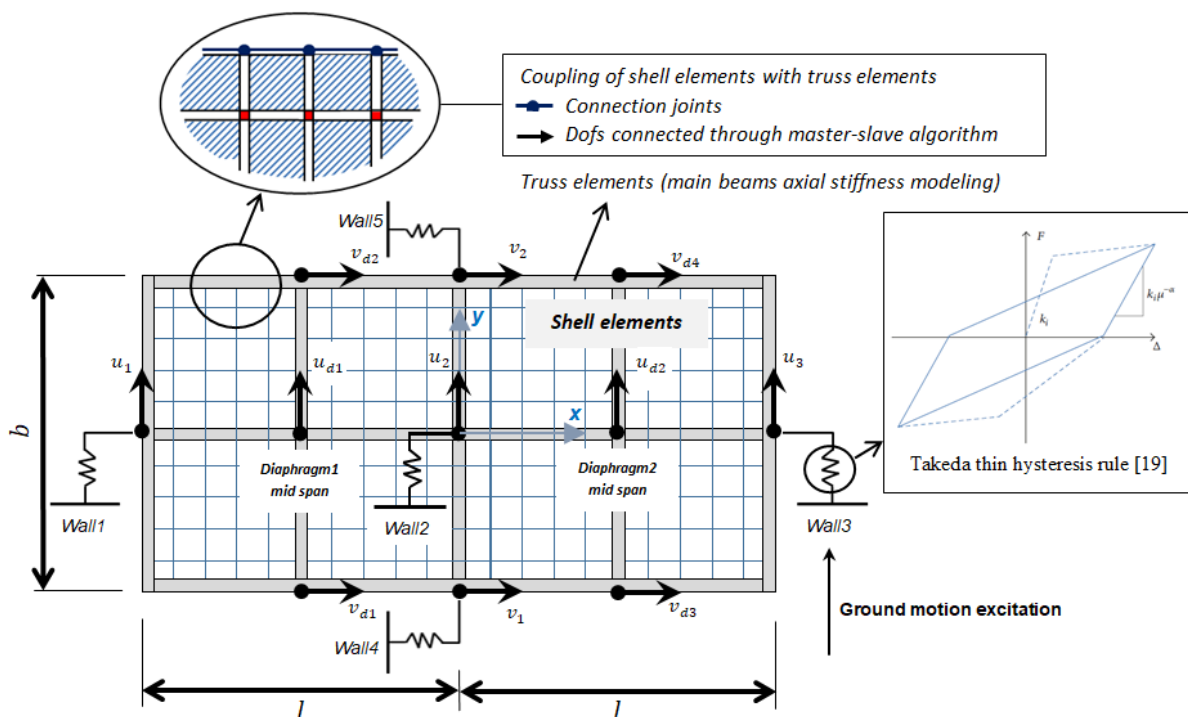
senaconf.ir

۲. سازه‌های مورد بررسی و مدل‌سازی تحلیلی

به منظور ارزیابی اثرات هم‌زمان شدت زلزله و انعطاف‌پذیری دیافراگم بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها، یک ساختمان ایدئال یک طبقه با پلان منظم در نظر گرفته شد. ابعاد پلان سازه $24\text{m} \times 10\text{m}$ بودند و ارتفاع آن 3.2m در نظر گرفته شد. دیافراگم لرزه‌ای در مدل مینا (مدل ۱) به صورت کاملاً صلب در نظر گرفته شد و در دیگر مدل‌ها درجات مختلفی از انعطاف‌پذیری‌ها در نظر گرفته شدند. با توجه به تقارن کامل مدل مینا، مراکز هندسه، جرم، سختی و مقاومت سازه بر یکدیگر منطبق بودند. جرم سازه به صورت یکنواخت در سراسر دیافراگم توزیع شده بود (850 kg/m^2) و از جرم المان‌های باربر جانبی در مقایسه با جرم سقف صرف‌نظر شد. فرض شد که سیستم باربر ثقلی (قاب ساختمانی ساده) جدا از سیستم باربر جانبی (دیوارهای برشی بتن‌آرمه) باشد. همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، سازه مینا دارای دو سه دیوار برشی به ترتیب در جهات X و Y است. بارهای ثقلی سازه بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ایران [۵۴] تعریف شدند، و طراحی دیوارهای برشی در سازه مینا بر اساس ضوابط لرزه‌ای استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۴۸] انجام شد. برش پایه کلی سازه در مدل مینا برابر با ۳۵۷ کیلو نیوتن (357.0 KN) محاسبه شد که به طور یکنواخت بین دیوارهای سازه در هر کدام از جهات X و Y توزیع شد.



شکل ۲. پیکربندی سازه مینا (مدل ۱)



شکل ۳. مدل تحلیلی سازه‌ها و رکوردهای تغییر مکان تعریف‌شده در نرم‌افزار OpenSees

دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

پس از تعیین سختی و مقاومت هر یک از دیوارهای سازه‌ای در مدل مبنای، درجات مختلفی از انعطاف‌پذیری دیافراگم سقف برای سازه در نظر گرفته شد. اعمال درجات مختلف انعطاف‌پذیری با تغییر سختی درون صفحه‌ای دیافراگم انجام شد. بر این اساس، برای دیافراگم لرزه‌ای، هجده درجه مختلف انعطاف‌پذیری از کاملاً صلب تا کاملاً انعطاف‌پذیر در نظر گرفته شدند. با توجه به اینکه بسیاری از آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای بین‌المللی، دیافراگم‌ها را به‌عنوان اجزای غیر شکل‌پذیر سازه‌ای که ظرفیت شکل‌پذیری محدودی دارند در نظر می‌گیرند، در نتیجه باید پس از زلزله بدون خسارت باقی بمانند و بنابراین برای دیافراگم‌ها در این تحقیق تنها رفتار الاستیک در نظر گرفته شد. با توجه به این واقعیت که سختی درون صفحه‌ای بسیاری از دیافراگم‌های بتنی از قبیل دال‌های دوطرفه، دال‌های دارای تیرچه و دال‌های مجوف در دو جهت اصلی یکسان است، بنابراین از مصالح ایزوتروپیک برای مدل‌سازی رفتار آن‌ها در حوزه الاستیک استفاده شد. همچنین آنالیز حساسیت مش بندی انجام و ابعاد مش‌های مورد استفاده مورد تأیید قرار گرفت. یکی از شاخص‌های دیگری که برای بیان انعطاف‌پذیری دیافراگم‌ها استفاده می‌شود، پیروید ارتعاشی دیافراگم تنها با نواحی انتهایی گیردار (T_d) است. این پارامتر به‌نوعی معرف سختی درون صفحه‌ای دیافراگم‌ها به‌طور مستقل از المان‌های باربر جانبی سازه است. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، در این تحقیق سطوح مختلف انعطاف‌پذیری دیافراگم از کاملاً صلب تا کاملاً انعطاف‌پذیر در نظر گرفته شدند. این درجات انعطاف‌پذیری با در نظر گرفتن مقادیر ثابتی برای ابعاد هندسی دیافراگم بدست آمدند. برای اعمال درجات انعطاف‌پذیری دیافراگم‌ها، مدول الاستیسیته دیافراگم (E_d) با سعی و خطا طوری در نظر گرفته شد که انعطاف‌پذیری مورد نظر در جدول ۱ بدست بیاید.

جدول ۱. شاخص‌های انعطاف‌پذیری دیافراگم و پیروید ارتعاش طبیعی مود اصلی دیافراگم تنها

Label	T_d (sec)	γ_s
Model 1	0.00	0.00
Model 2	0.03	0.02
Model 3	0.04	0.04
Model 4	0.06	0.08
Model 5	0.09	0.16
Model 6	0.14	0.31
Model 7	0.19	0.45
Model 8	0.24	0.61
Model 9	0.28	0.77
Model 10	0.31	0.507
Model 11	0.38	0.550
Model 12	0.44	0.592
Model 13	0.49	0.632
Model 14	0.59	0.706
Model 15	0.67	0.775
Model 16	0.74	0.838
Model 17	0.81	0.896
Model 18	0.87	0.952

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، دیوارهای برشی (المان‌های باربر جانبی) با استفاده از مدل ماکروی تا کدا مدل‌سازی شدند، که یک مدل ساده و متداول برای شبیه‌سازی رفتار دیوارهای برشی بتن‌آرمه و ستون‌ها است. قابل توجه است که وابستگی مقاومت دیوارهای برشی به نیروهای محوری در این تحقیق لحاظ نشدند. در تمام مدل‌ها سختی ثانویه پس از تسلیم دیوارهای برشی برابر با صفر در نظر گرفته شد. برای اجتناب از تمرکز کرنش در نقاط اتصال دیافراگم‌ها و دیوارهای برشی (فنرهای انتقالی) در مدل تحلیلی، سختی محوری تیرهای پیرامونی دیافراگم با استفاده از المان خریایی در مدل سازه‌ای در نظر گرفته شد (شکل ۳). مشخصات مقاطع تیرهای پیرامونی در طراحی اولیه سازه تحت بارهای ثقیلی و جانبی بدست آمدند. میرایی لزجی در تحلیل دینامیکی برای همه مودها برابر با ۵٪ میرایی بحرانی در نظر گرفته شد. سپس مدل‌های سازه‌ای تحت هفت رکورد زلزله یک‌جهتی (در جهت y) مربوط به حوزه‌های دور تحلیل شدند. رکوردهای زلزله انتخابی مربوط به خاک مشابه (خاک نوع II) با حداقل بزرگی ۶٫۰ ریشتر و بیشینه شتاب زمین (PGA) حداقل برابر 0.15g بودند (جدول ۲ و شکل ۴). تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی سازه‌ها با استفاده از نرم‌افزار اپن سیس و بهره‌گیری از امکانات تحلیلی در وب‌سایت DesignSafe انجام شد. با توجه به اینکه یکی از اهداف اصلی این تحقیق ارزیابی اثر شدت زلزله بر رفتار لرزه‌ای سازه‌های با دیافراگم انعطاف‌پذیر بود، بیشینه شتاب زمین (PGA) به‌عنوان معیار شدت زلزله (IM) در این تحقیق در نظر گرفته شد. بنابراین، هر رکورد زلزله بر اساس هشت PGA مختلف از 0.05g تا 0.7g مقیاس بندی شدند. سپس هر یک از مدل‌های سازه‌ای در این شدت‌ها تحلیل شدند و پاسخ لرزه‌ای آن‌ها محاسبه شدند.

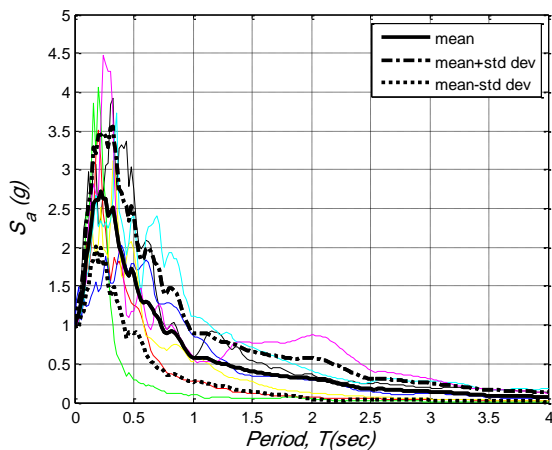
دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

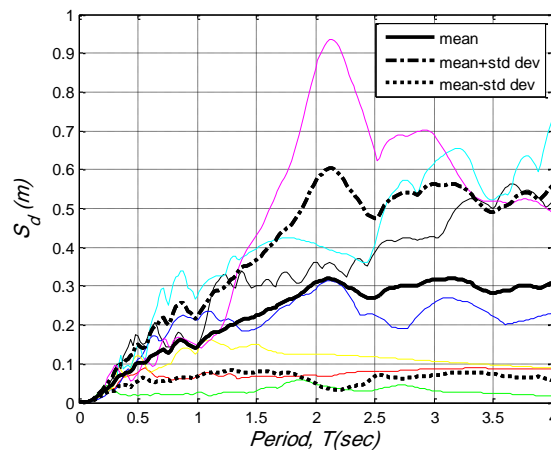
senaconf.ir

جدول ۲. رکوردهای زمین لرزه مورد استفاده در تحلیل های دینامیکی

Event	Year	Station	M_w	Mechanism	Closest Distance (m)	V_{s30} (m/s)	PGA (g)	Duration (Sec)
Imperial Valley-06	1979	Cerro Prieto	6.53	strike slip	15.19	471.53	0.168	36.27
N. Palm Springs	1986	San Jacinto	6.06	Reverse Oblique	22.96	447.22	0.254	20.09
Cape Mendocino	1992	Shelter Airport	7.01	Reverse	26.51	518.98	0.228	30.5
Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU045	7.62	Reverse Oblique	26	704.64	0.507	35.095
San Fernando	1971	Old Ridge Route	6.61	Reverse	19.33	450.28	0.320	20.27
Kern County	1952	Lincoln School	7.36	Reverse	38.42	385.43	0.159	47.64
Manjil, Iran	1990	Qazvin	7.37	strike slip	49.97	302.64	0.184	35.99



شکل ۳. (ب) طیف شبه شتاب



شکل ۳. (الف) طیف تغییر مکان

شکل ۴. طیف پاسخ رکوردهای زمین لرزه در نظر گرفته شده با $\xi = 5\%$

۳. نتایج

۳.۱. نسبت انعطاف پذیری دینامیکی (γ_d)

در شکل ۵، کانتور شاخص انعطاف پذیری دینامیکی (γ_d) برای شدت های مختلف زلزله (PGA) و سطوح مختلف انعطاف پذیری دیافراگم (T_d) ارائه شده است. در این تحقیق، تابع انعطاف پذیری دینامیکی برای هر رکورد زلزله ($\gamma_{d,i}(t)$) با استفاده از معادله ۲ محاسبه شده است. در این معادله $\delta_{d,i}(t)$ تابع حداکثر مقدار تغییر شکل دیافراگم برای هر رکورد زلزله و $\delta_{t,i}(t)$ میانگین جابه جایی المان های باربر جانبی متصل به دیافراگم هستند. سپس میانگین حداکثر مقادیر $\gamma_{d,i}(t)$ یعنی $\gamma_{d,i} max$ برای هفت رکورد زلزله اعمالی محاسبه می شود.

$$\gamma_{d,i}(t) = \frac{\delta_{d,i}(t)}{\delta_{t,i}(t)} \quad (2)$$

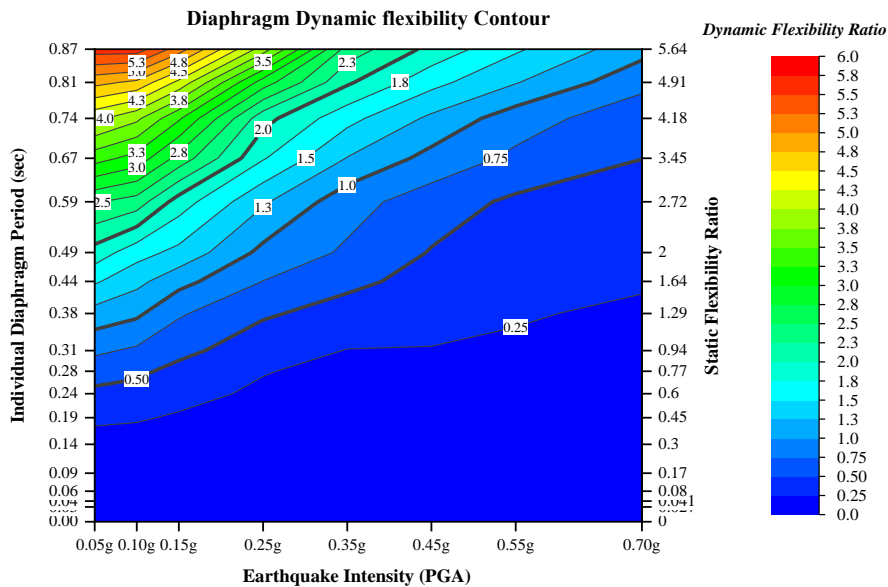
به منظور ارزیابی بهتر، مقادیر شاخص انعطاف پذیری استاتیکی (γ_s) نیز بر روی محور قائم سمت راست کانتور نشان داده شده اند. همان طور که در این کانتور مشاهده می شود، شاخص انعطاف پذیری دینامیکی، که بیانگر میزان انعطاف پذیری واقعی دیافراگم در طول زلزله واقعی است، علاوه بر نوع دیافراگم (T_d)، بسیار وابسته به شدت زلزله است. در حقیقت در شدت های زلزله پایین ($PGA=0.05g$) که رفتار سازه به صورت الاستیک است، شاخص انعطاف پذیری دینامیکی (γ_d) تقریباً برابر با شاخص انعطاف پذیری استاتیکی (γ_s) است (شکل ۶). با افزایش شدت زلزله و ورود دیوارهای برشی سازه به ناحیه غیرخطی، دیافراگم ها در مقایسه با دیوارهای برشی رفتار سخت تری دارند و مقادیر کوچک تری برای شاخص انعطاف پذیری دیافراگم ها ثبت می گردد. بنابراین، شاخص انعطاف پذیری استاتیکی (که به عنوان معیاری برای طبقه بندی سازه ها بر مبنای انعطاف پذیری دیافراگم آن ها در آیین نامه های لرزه ای در نظر گرفته می شود)، اثرات شدت زلزله

دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

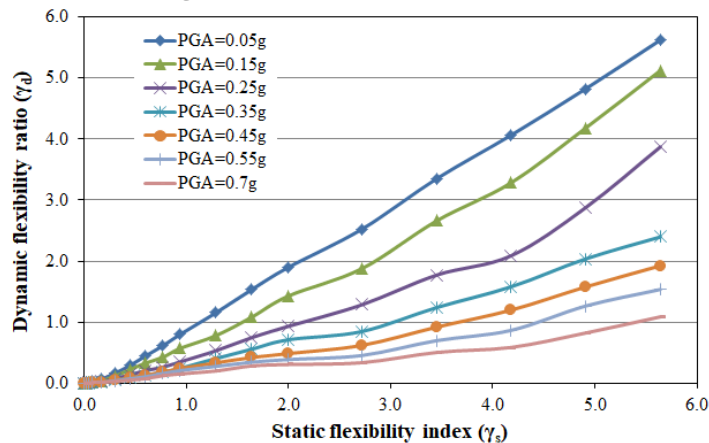
12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senacnf.ir

و رفتار المانهای سازه در حوزه غیرخطی را نادیده می‌گیرد. بنابراین شاخص انعطاف پذیری دینامیکی به‌طور قابل توجهی با شدت زلزله و انعطاف پذیری دیافراگم (T_d) همبستگی دارد و خطوط کانتور در شکل ۵ این موضوع را به‌خوبی نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که با توجه به تقارن مدل‌های سازه‌ای، هر دو دیافراگم سازه‌های مورد بررسی دقیقاً کانتور یکسانی را داشتند.



شکل ۵. کانتور شاخص انعطاف‌پذیری دینامیکی (T_d)



شکل ۶. تغییرات شاخص انعطاف‌پذیری دینامیکی در سطوح مختلف شدت زلزله

۳.۲. تغییر مکان نسبی دیوارهای برشی مرکزی و لبه‌ای

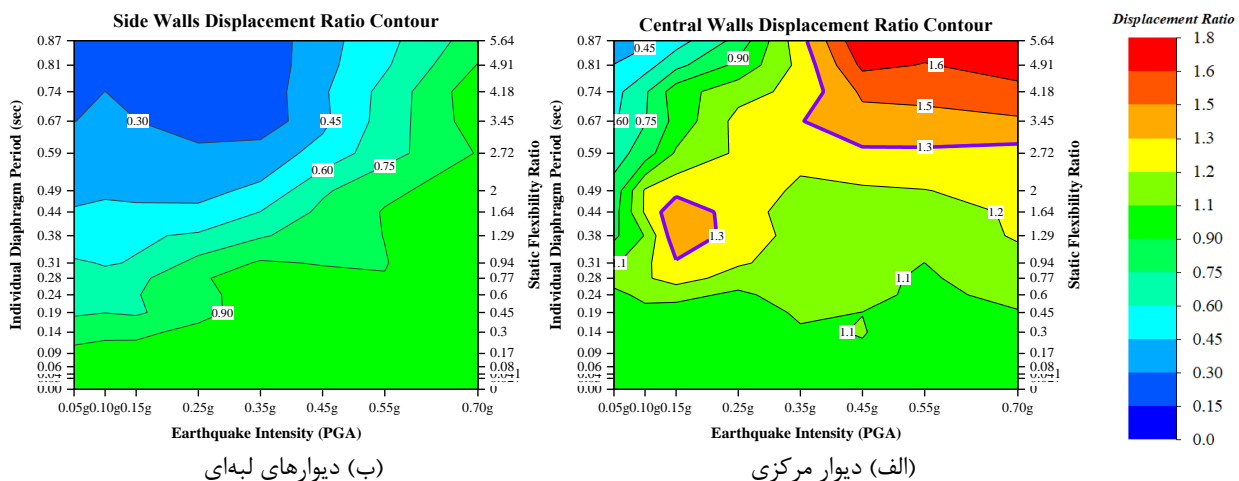
در کانتور شکل ۷، تغییر شکل نسبی دیوارهای برشی سازه‌های با دیافراگم انعطاف‌پذیر به تغییر شکل دیوارهای مشابه در سازه با دیافراگم صلب (مدل مینا) نشان داده شده است. مشابه کانتور قبلی، محور افقی بیانگر سطوح مختلف شدت زلزله (PGA) و محور قائم نشان‌دهنده سطوح مختلف انعطاف‌پذیری دیافراگم (T_d) است. برای ارزیابی بهتر مقادیر متناظر انعطاف‌پذیری استاتیکی سازه‌ها (γ_s) نیز روی محور قائم سمت راست کانتور ارائه شده‌اند. از این کانتورها نتایج زیر قابل استنباط است:

دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

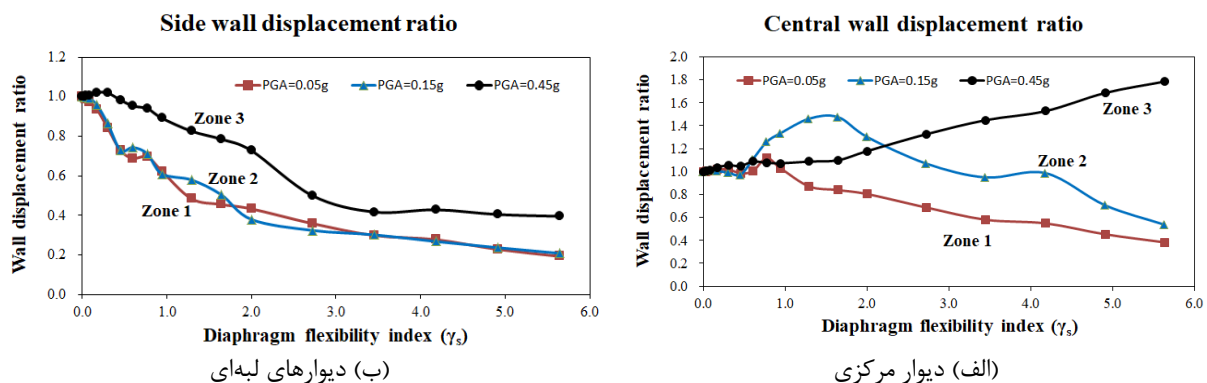
12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

الف) پاسخ لرزه‌ای دیوارهای باربر جانبی سازه‌های با دیافراگم انعطاف‌پذیر نه تنها وابسته به نوع دیافراگم (T_d) است، بلکه همچنین متأثر از شدت زلزله (PGA) است. شکل ۸ نشان دهنده تغییرات نسبت تغییرشکل دیوارها به علت درجات مختلف انعطاف‌پذیری دیافراگم در سه شدت زلزله مختلف (PGA=0.05g, 0.15g, 0.45g) است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، با افزایش انعطاف‌پذیری، نسبت تغییرشکل دیوار مرکزی در شدت‌های کم زلزله (PGA=0.05g) غالباً روند نزولی دارد. برای زلزله‌های با شدت متوسط (PGA=0.15g)، نسبت تغییرشکل دیوار میانی در ابتدا صعودی و سپس نزولی است. سرانجام، برای شدت‌های بالای زلزله (PGA=0.45g)، نسبت تغییرشکل دیوارهای مرکزی همواره روند صعودی دارد. در حقیقت می‌توان گفت عدم توجه کافی به اثرات شدت زلزله در اغلب تحقیقات پیشین یکی از دلایل مهم عدم توافقی آن تحقیقات در خصوص اثرات انعطاف‌پذیری دیافراگم‌ها بر رفتار سازه‌ها است.



شکل ۷. کانتور تغییرشکل نسبی دیوارهای برشی در سازه‌های با دیافراگم انعطاف‌پذیر



شکل ۸. نسبت تغییر مکان دیوارها در سازه‌های با دیافراگم انعطاف‌پذیر

ب) تفاوت بین کانتورهای شکل ۷-الف و ۷-ب، بیانگر آن است که در سازه‌های با دیافراگم انعطاف‌پذیر، رفتار دیوارهای میانی کاملاً متفاوت از رفتار دیوارهای لبه‌ای است. بنابراین حتی در سازه‌های متقارن، انعطاف‌پذیری دیافراگم می‌تواند منجر به رفتار مستقل المان‌های باربر جانبی گردد.

ج) برای انعطاف‌پذیری‌های کمتر ۰.۵ ($\gamma_s \leq 0.5$) دیافراگم‌ها را در تمام سطوح شدت زلزله تقریباً می‌توان به صورت صلب فرض کرد، چراکه در این محدوده نتایج تغییرشکل سازه‌ها با دیافراگم انعطاف‌پذیر کاملاً مشابه با نتایج سازه با دیافراگم صلب است. این نتیجه‌گیری کاملاً با ضوابط آیین‌نامه‌های لرزه‌ای مطابقت دارد. اما برای درجات بالاتر انعطاف‌پذیری دیافراگم ($\gamma_s \geq 0.5$)، طبقه‌بندی رفتار سازه‌ها بر

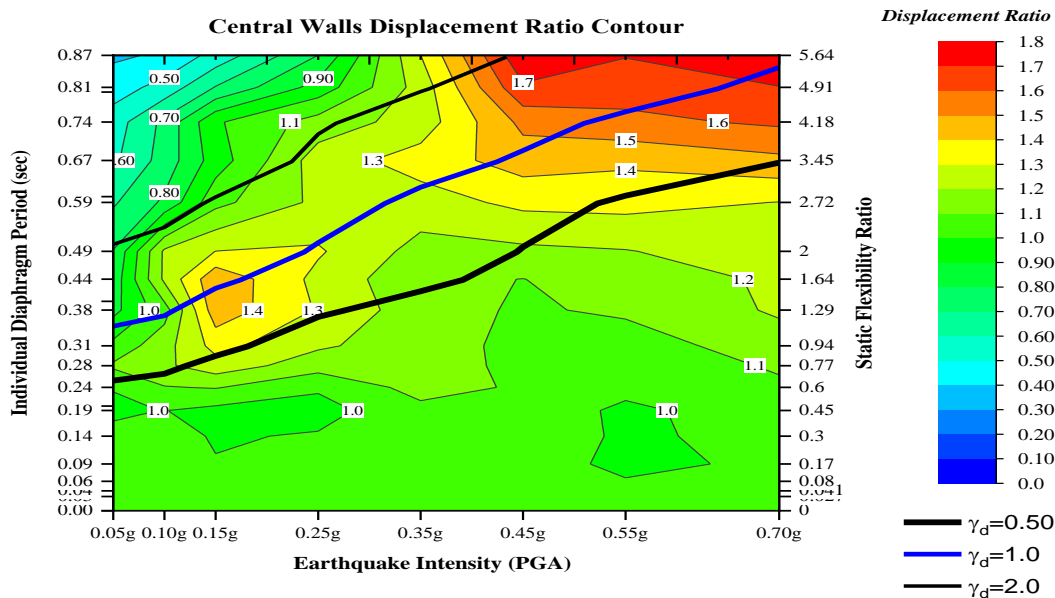
دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

مبنای درجه انعطاف پذیری دیافراگم بسیار مشکل می شود، چراکه پاسخ المانهای باربر جانبی سازه به طور هم زمان متأثر از انعطاف پذیری دیافراگم و شدت زلزله است. بعلاوه پاسخ دیوارهای لبه ای در سطوح مختلف شدت زلزله و انعطاف پذیری دیافراگم کاملاً متفاوت از پاسخ دیوار مرکزی سازه است. لازم به ذکر است که این جزئیات در آیین نامه های لرزه ای برای طبقه بندی سازه ها بر مبنای انعطاف پذیری دیافراگم مورد توجه قرار نگرفته اند.

(د) برای دیوارهای لبه ای، با افزایش انعطاف پذیری دیافراگم، تقریباً در تمام سطوح شدت زلزله، یک روند ثابت یا نزولی برای تغییر شکل نسبی دیوارها مشاهده می گردد. این موضوع بیانگر آن است که فرض دیافراگم صلب یک فرض محافظه کارانه برای تخمین تقاضای تغییر مکان در این دیوارها است. با این حال در دیوارهای مرکزی سطوح بحرانی از انعطاف پذیری دیافراگم و شدت زلزله وجود دارند که در آنها، تغییر شکل دیوار مرکزی ۳۰ تا ۸۰ درصد بیشتر از تغییر شکل دیوار مرکزی در سازه با دیافراگم صلب مشابه است. این نواحی بحرانی در شکل ۷-الف با خط آبی رنگ احاطه شده اند. یکی از این نواحی متناظر با سطوح انعطاف پذیری دیافراگم متوسط ($0.94 < \gamma_s < 2.0$) و سطوح شدت زلزله متوسط ($0.10g < PGA < 0.25g$) است. در این ناحیه در حالی که پاسخ المانهای کناری به صورت الاستیک است، دیوار مرکزی به علت سهم بارگیر بیشتر رفتار غیرخطی دارد و از طرفی انعطاف پذیری دیافراگم اجازه تغییر شکل های زیاد آن را فراهم می کند. ناحیه بحرانی دیگر متناظر با درجات زیاد انعطاف پذیری دیافراگم ($\gamma_s < 2.72$) و شدت های بالای زلزله ($PGA > 0.35g$) است. در این ناحیه اگرچه هر سه المان باربر جانبی رفتار غیرخطی دارند، اما سهم بارگیر بسیار زیاد المان مرکزی و انعطاف پذیری زیاد دیافراگم سبب می شود این المان تقریباً به طور مستقل از دیوارهای کناری رفتار کند و منجر به تغییر شکل های بسیار زیاد در این دیوار گردد. همان طور که پیش تر ذکر شد، نسبت پاسخ دیوارها نه تنها متأثر از انعطاف پذیری استاتیکی دیافراگم (γ_s) است، بلکه بسیار وابسته به شدت زلزله نیز می باشد. همان طور که در شکل ۹ مشاهده می شود، مقادیر حداکثر تغییر شکل نسبی دیوار مرکزی همبستگی بسیار زیادی با شاخص انعطاف پذیری دینامیکی (γ_d) دارد. در حقیقت، بیشترین مقادیر نسبت تغییر مکان دیوار مرکزی در محدوده شاخص انعطاف پذیری دینامیکی بین ۰٫۵ و ۲٫۰ ($0.50 < \gamma_d < 2.0$) ثبت شده اند. با توجه به این کانتور می توان گفت که شاخص انعطاف پذیری دینامیکی برابر با یک ($\gamma_d = 1.0$) را می توان به عنوان شاخص انعطاف پذیری بحرانی سازه در نظر گرفت.



شکل ۹. تغییر شکل نسبی حداکثر دیوار مرکزی و شاخص انعطاف پذیری دینامیکی بحرانی

انواع متنوعی از سقف های کامپوزیتی نوین در حال عرضه به صنعت ساخت و ساز کشور هستند و ویژگی هایی از قبیل کاهش هزینه اقتصادی، ساخت و اجرای سریع و ساده و قابلیت بکارگیری در دهانه های بسیار بلند سبب اقبال روزافزون به این نوع سقف های جدید است. با این حال عملکرد لرزه ای این سقف ها خصوصاً به عنوان دیافراگم لرزه ای که نقش یکپارچگی سازه و توزیع نیروی جانبی بین المان های باربر جانبی را دارد، ناشناخته و مبهم است. در این تحقیق به بررسی اثرات همزمان انعطاف پذیری احتمالی این سقف ها و شدت زلزله بر تقاضای لرزه ای در المان های باربر جانبی سازه ها پرداخته شده است. بررسی رفتار سازه های با دیافراگم انعطاف پذیر در شدت های مختلف زلزله یکی از موضوعاتی است که در این مقاله مورد بحث قرار گرفت. کانتورهای پاسخ، که برای اولین بار در این مقاله ارائه شده اند، یک ارزیابی کلی از چگونگی پاسخ المان های سازه در سطوح مختلف شدت زلزله و انعطاف پذیری دیافراگم ارائه می دهند. نشان داده شد که سطوح بحرانی از شدت زلزله و انعطاف پذیری دیافراگم وجود دارند که در آن رفتار دیوارهای کناری کاملاً انعطاف پذیر است، درحالی که رفتار دیوار مرکزی سازه غیرخطی است. این عملکرد، تقاضاهای تغییر شکل زیادی به المان میانی سازه و همین طور تغییر شکل برشی قابل توجهی به دیافراگم های سازه تحمیل می کند. بر این اساس نتایج نشان داند که شاخص انعطاف پذیری استاتیکی (V_d)، که در آیین نامه های لرزه ای معرفی شده است، عواملی از قبیل رفتار غیرخطی المان های باربر جانبی و تغییر شکل برشی دیافراگم ها را که نقش مهمی در عملکرد سازه های با دیافراگم انعطاف پذیر دارند، نادیده می گیرند. در مقابل نشان داده شد که شاخص انعطاف پذیری دینامیکی (V_d)، که بیانگر میزان واقعی انعطاف پذیری دیافراگم های لرزه ای سازه در زلزله است، همبستگی بسیار زیادی با حداکثر تقاضاهای تغییر شکل المان های سازه ای دارد. بر این اساس، $\gamma_d = 1.0$ را می توان به عنوان درجه انعطاف پذیری بحرانی برای دیافراگم های لرزه ای یک سازه در نظر گرفت که بیشترین تقاضای تغییر مکان برای المان های سازه ای را به دست می دهد.

منابع

- [1] Shepherd R, Holmes WT, Lizundia B, Aiken ID, De Angelis CA, Bertero V, *et al.* Buildings. Earthq Spectra 1990; 6(S1):127-49.
- [2] Somers P, Campi D, Holmes W, Kehoe BE, Klingner RE, Lizundia B *et al.* Unreinforced masonry buildings. Earthq Spectra 1996; 12(S1):195-217.
- [3] Iverson JK, Hawkins NM. Performance of precast/prestressed concrete building structures during Northridge earthquake. PCI J 1994;39:38-56.
- [4] Henry R, Ingham J. Behaviour of tilt-up precast concrete buildings during the 2010/2011 Christchurch earthquakes. Struct Concr 2011;12(4), 234-240.
- [5] Tena-Colunga A, Chinchilla-Portillo KL, Juárez-Luna G. Assessment of the diaphragm condition for floor systems used in urban buildings. Eng Struct 2015; 93:70-84.
- [6] Ju SH, Lin MC. Comparison of building analyses assuming rigid or flexible floors. ASCE J Struct Eng 1999;125(1):25-31.
- [7] Saffarini HS, Qudaimat MM. In-plane floor deformations in RC structures. ASCE J Struct Eng 1992;118(11):3089-102.
- [8] Jain S.K, Jennings P.C. Analytical models for low-rise buildings with flexible floor diaphragms. Earthquake Engng Struct. Dyn 1985;13:225-41.
- [9] Nakamura Y, Derakhshan H, Magenes G, Griffith MC. Influence of Diaphragm Flexibility on Seismic Response of Unreinforced Masonry Buildings. J Earthq Eng 2017; 21(6):935-60
- [10] Jiménez-Pacheco J, González-Drigo R, Pujades Beneit LG, Barbat AH, Calderón-Brito J. Traditional high-rise unreinforced masonry buildings: modeling and influence of floor system stiffening on their overall seismic response. Int J Archit Heritage 2020:1-38.
- [11] Wilson A, Quenneville P, Ingham J. Natural period and seismic idealization of flexible timber diaphragms. Earthq Spectra 2013;29(3):1003-19.
- [12] Bazarchi E, Hosseinzadeh Y, Panjebashi Aghdam P. Investigating the in-plane flexibility of steel-deck composite floors in steel structures. Int J Struct Integr 2018;9(5):705-20.

- [13] De-La-Colina J. In-plane floor flexibility effects on torsionally unbalanced systems. *Earthquake Eng Struct Dynam* 1999;28(12):1705–15.
- [14] Sadashiva VK, Macrae GA, Deam BL, Spooner MS. Quantifying the seismic response of structures with flexible diaphragms. *Earthquake Eng Struct Dynam* 2012; 41(10):1365-89.
- [15] Eivani H, Sarvghad Moghadam A, Aziminejad A, Nekooei M. Seismic Response of Plan-Asymmetric Structures with Diaphragm Flexibility. *Shock and Vibration* 2018; 1-18.
- [16] Fleischman RB, Farrow KT, Eastman K. Seismic performance of perimeter lateral-system structures with highly flexible diaphragms. *Earthq Spectra* 2002;18(2):251-86.
- [17] Fleischman RB, Farrow KT. Dynamic behavior of perimeter lateral-system structures with flexible diaphragms. *Earthquake Eng Struct Dynam* 2001; 30(5):745-63.
- [18] Panahshahi N, Reinhorn AM, Kunnath SK, Lu L-W, Huang T, Yu K. Seismic response of a 1:6 reinforced concrete scale-model structure with flexible floor diaphragms. *ACI Struct J* 1991;88(3):615-24.
- [19] Moeini M, Rafezy B. Investigation into the floor diaphragms flexibility in reinforced concrete structures and code provision. *Glob J Res Eng* 2011;11(1):25–35. February.
- [20] Kunnath SK, Panahshahi N, Reinhorn AM. Seismic response of RC buildings with inelastic floor diaphragms. *ASCE J Struct Eng* 1991;117(4):1218–37.
- [21] Lee HJ, Aschheim MA, Kuchma D. Interstory drift estimates for low-rise flexible diaphragm structures. *Eng Struct* 2007; 29(7):1375-97.
- [22] Eivani H, Sarvghad Moghadam A, Aziminejad A, Nekooei M. Effects of diaphragm flexibility on seismic response of asymmetric-plan buildings. *GRAĐEVINAR* 2018;70(11):965-974.
- [23] Kim S-C, White DW. Nonlinear analysis of a one-story low-rise masonry building with a flexible diaphragm subjected to seismic excitation. *Eng Struct* 2004; 26(14):2053-67.
- [24] Barron JM, Hueste MBD. Diaphragm effects in rectangular reinforced concrete buildings. *ACI Struct J* 2004;101(5):615–24.
- [25] Humar J, Popovski M. Seismic response of single-storey buildings with flexible diaphragms. *Can J Civ Eng* 2013; 40:875–86. <http://dx.doi.org/10.1139/cjce-2012-0493>.
- [26] Tena-Colunga A, Abrams DP. Seismic behavior of structures with flexible diaphragms. *ASCE J Struct Eng* 1996;122(4):439–45.
- [27] Tremblay R, Stierner SF. Seismic behavior of single-storey steel structures with a flexible roof diaphragm. *Can J Civ Eng* 1996;23(1):49–62.
- [28] Lee HJ, Kuchma D, Aschheim MA. Strength-based design of flexible diaphragms in low-rise structures subjected to earthquake loading. *Eng Struct* 2007;29(7):1277–95.
- [29] Brignola A, Pampanin S, Podestà S. Evaluation and control of the in-plane stiffness of timber floors for the performance-based retrofit of URM buildings. *Bull N Z Soc Earthquake Eng* 2009;42(3):204–21.
- [30] Bahar S, Benanane A, Belarbi A. The influence of deformability of horizontal diaphragms in the distribution of seismic loads to bracing elements in rectangular buildings. *Journal of Materials and Engineering Structures* 2019;6(1):105–18.
- [31] Zhang D, Fleischman RB. Establishment of performance-based seismic design factors for precast concrete floor diaphragms. *Earthquake Eng Struct Dynam*. 2016;45(5):675-98.
- [32] Fleischman RB, Restrepo JI, Naito CJ, Sause R, Zhang D, Schoettler M. Integrated analytical and experimental research to develop a new seismic design methodology for precast concrete diaphragms. *ASCE J Struct Eng* 2013;139(7):1192–204. Special Issue.
- [33] Zhang D, Fleischman RB, Naito C, Ren R. Experimental evaluation of pretopped precast diaphragm critical flexure joint under seismic demands. *ASCE J Struct Eng* 2011;137(10):1063–74

دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

- [34] Schoettler MJ, Belleri A, Zhang D, Restrepo J, Fleischman RB. Preliminary results of the shake-table testing for the development of a diaphragm seismic design methodology. *PCI J* 2009;54(1):100–24.
- [35] Tremblay R, Berair T, Filiatrault A. Experimental behaviour of low-rise steel buildings with flexible roof diaphragms. In: 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand; 2000. Paper 2567.
- [36] Magenes G, Penna A, Senaldi IE, Rota M, Galasco A. Shaking table test of a strengthened full-scale stone masonry building with flexible diaphragms. *Int J Archit Heritage* 2014;8(3):349–75. <https://doi.org/10.1080/15583058.2013.826299>.
- [37] Senaldi IE, Magenes G, Penna A, Galasco A, Rota M. The effect of stiffened floor and roof diaphragms on the experimental seismic response of a full-scale unreinforced stone masonry building. *J Earthquake Eng* 2014;18(3):407–43. <https://doi.org/10.1080/13632469.2013.876946>.
- [38] Kollerathu JA, Menon A. Role of diaphragm flexibility modelling in seismic analysis of existing masonry structures. *Structures*. 2017;11:22-39.
- [39] Pinho R, Bhatt C, Antoniou S, Bento R. Modelling of the horizontal slab of a 3D irregular building for nonlinear static assessment. *Proceedings of the 14th world conference on earthquake engineering*, Beijing, China. 2008.
- [40] López OA, Raven E. An overall evaluation of irregular-floor-plan—shaped buildings located in seismic areas. *Earthq Spectra* 1999;15(1):105–20.
- [41] Koliou M, Masoomi H, Lindt J. Fragility assessment of buildings with Rigid walls/flexible roof diaphragms subjected to earthquake and tornado. *Proceedings of the 16th world conference on earthquake engineering*, Santiago, Chile. 2017.
- [42] Mortazavi P, Humar J. Consideration of diaphragm flexibility in the seismic design of one-story buildings. *Eng Struct* 2016; 127:748-58
- [43] Tremblay R, Martin E, Yang W, Rogers CA. Analysis, testing and design of steel roof deck diaphragms for ductile earthquake resistance. *J Earthquake Eng* 2004;8(5):775–816.
- [44] Rogers CA, Tremblay R. Inelastic seismic response of frame fasteners for steel roof deck diaphragms. *J Struct Eng, ASCE* 2003;129(12):1647–57.
- [45] ASCE-7. Minimum design loads for buildings and other structures. ASCE standard ASCE/SEI 7-10. American Society of Civil Engineers; 2010. ISBN 0-7844-0809-2.
- [46] American Society of Civil Engineers (ASCE). ASCE/SEI 41-13: Seismic evaluation and retrofit of existing buildings; 2013.
- [47] American Society of Civil Engineers (ASCE). ASCE/SEI 41-17: Seismic evaluation and retrofit of existing buildings; 2017.
- [48] Standard No. 2800, Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings. Building and Housing Research Center, Tehran, Iran; 2015.
- [49] Federal Emergency Management Agency. NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings. FEMA 273, Washington (DC); 1997.
- [50] Federal Emergency Management Agency. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. FEMA 356, Washington (DC); 2000.
- [51] New Zealand Society for Earthquake Engineering (NZSEE) Inc. NZSEE. 2017: The seismic assessment of existing buildings: Technical guidelines for engineering assessments; 2017.
- [52] UBC-97. Uniform Building Code. In: International conference of building officials, 1997 ed., vol. 2; 1997.
- [53] Koliou M, Lindt J, Filiatrault A. Evaluation of an alternative seismic design approach for rigid wall flexible wood roof diaphragm buildings through probabilistic loss estimation and disaggregation. *Eng Struct* 2016; 127:31-39.
- [54] Iranian national building code, Part 6. Design Loads for Buildings. BHRC, Tehran, Iran; 2013.