اثر نسبت جرم بر انعطاف‌پذیری دیافراگم‌های بتنی کف

فریدون ایرانی استاد گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
مریم هاشمیان کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

یکی از عوامل موثر بر میزان انعطاف‌پذیری کف، نسبت جرم کف به دیوارها در ساختمان‌های حاوی دیوار برشی است. این نسبت گاهی یکی از مهم‌ترین پارامترهای تعیین‌کننده رفتار کف می‌باشد. در این مقاله، به منظور بررسی میزان اثرگذاری این نسبت، سازه‌هایی با نسب جرم‌های مختلف مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. نتایج این تحلیل‌ها نشان می‌دهد که گاهی رفتار کف با اثردهی نسبت واقعی جرم، دقیقاً عکس رفتاری است که با توجه به فرضیات فنی و روش‌های ساده‌سازی شده، مورد انتظار بوده است.

کلمات کلیدی: دیافراگم انعطاف‌پذیر، دیافراگم کف، سختی نسبی، نسبت جرم، دیوار برشی.

The Effect of Mass Ratio on Flexibility of Concrete Floor Diaphragms

F. Irani Dept. of Civil Eng., School of Eng., Ferdowsi University, Mashhad, Iran
M. Hashemian Dept. of Civil Eng., School of Eng., Ferdowsi University, Mashhad, Iran

Abstract

One of the factors that affects the flexibility of floor slabs, is the ratio of floor mass to the shear wall mass in shear walled buildings. This ratio may sometimes be one of the most important parameters in floor behavior. To evaluate the importance of this ratio, several structures with different mass ratios have been analyzed in this paper. The results of these analyses have shown that the floor behavior may be quite different if the mass ratio not to be considered, which is the most common rule of ordinary analysis.

Key words: Flexible diaphragms, Floor diaphragm, Stiffness ratio, Mass ratio, Shear wall.

۱- مقدمه

صلب فرض کردن دیافراگم‌ها که اولین بار توسط Macleod و Wilson در سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۷۵ مطرح شد، به دلیل کاهش تعداد درجات آزادی باعث سرعت بخشیدن به محاسبات تحلیلی یک ساختمان شده و کاربرد وسیعی در مهندسی سازه دارد. هرچند این فرض در برخی موارد، فرض سودمندی است، ولی بروز خطاهای قابل ملاحظه، هنگام استفاده از دیافراگم صلب در برخی موارد، کاربرد آن را محدود کرده و استفاده از دیافراگم‌هایی با صلبیت‌های مختلف را ضروری نموده است [۱].

در سال ۱۹۷۴، Muto از یک نیو با تغییر شکل‌های خمشی و برشی برای مدلسازی رفتار کف‌های انعطاف‌پذیر استفاده نمود. این فرضیه در سال ۱۹۸۴ نیز توسط Iain برای بررسی اثرات انعطاف‌پذیری کف‌ها در تحلیل دینامیکی سازه استفاده شد [۲].

در سال ۱۹۹۵، Lena Colunga و P. Abrams از یک مدل قابی برای مدلسازی رفتار انعطاف‌پذیر دیافراگم‌های کف و وارد کردن اثر آنها در تحلیل ساختمان‌ها استفاده کردند [۳،۴،۵].

در سال‌های اخیر، با توجه به استفاده گسترده از کامپیوترها و نرم‌افزارهای تحلیل سازه از مدل‌های دوبعدی برای مدلسازی دیافراگم‌های کف استفاده شده است.

بررسی رفتار واقعی یک دیافراگم از نظر خمش و برش درون صفحه‌ی و نحوه توزیع نیروهای جانبی بین اعضاء قائم، نیازمند یک مدلسازی سه‌بعدی و یک تحلیل غیرخطی پرهزینه بخشی بسیی اعضاء می‌باشد. بنگونه تحلیل‌ها معمولاً پیچیده، طولانی و در مواردی غیر اقتصادی می‌باشند. لذا مطالعات گوناگونی در جهت دستیابی به یک معیار مناسب برای تشخیص میزان انعطاف‌پذیری دیافراگم‌ها صورت گرفته است. اما از آنجا که صلبیت دیافراگم‌ها تابع عوامل متعددی می‌باشد، تاکنون معیار دقیقی برای تشخیص این مقدار صلبیت ارائه نشده است تا بر این مبنا، شناخت این عوامل و بررسی حالاتی که در آنها کف باید به صورت واقعی مدل گردد میسر گردد. شناخت بیشتر این عوامل، موجب شناخت بهتر رفتار دیافراگم و یکپارچگی بیشتر صلبیت کف در تحلیل و طراحی سازه خواهد شد.

در این مقاله، هدف، بررسی یکی از عوامل مؤثر بر صلبیت دیافراگم‌ها در سازه‌های حاوی دیوار برشی است که نادیده گرفتن آن گاهی موجب تغییر در عملکرد سازه و نتایج غیرواقعی می‌گردد. با توجه به نتایج این مقاله، نسبت جرم مؤثر بر انعطاف‌پذیری دیافراگم کف می‌باشد به قسمی که گاهی با وارد کردن اثر نسبت جرم دیوار و کف در تحلیل نیروی جانبی، پاسخ‌های به‌دست آمده کاملا مغایر با فرضیات قبلی عملکرد سازه در این حالت می‌باشد.

۲- مدل‌های مورد بررسی

مدل مورد استفاده در این مقاله، یک ساختمان یک طبقه بتنی ($\gamma = 2400\ kg/m^3$) با عرض ۳ متر، دارای دو دهانه ۵متری و سه دیوار برشی به ارتفاع ۳/۵ متر است. درنظرگرفتن این مدل ساده به چند دلیل عمده انجام گرفته است:

۱. در طبقات پایین، انعطاف‌پذیری دیافراگم بیشتر اثرات خود را نمایان می‌سازد.

۲. در این مدل، دیوارهای برشی تنها اعضاء بار بر جانبی را تشکیل می‌دهند. در حالت کلی، چنانچه این طبقه شامل قاب‌های خمشی نیز باشد، می‌توان از وجود آنها در تحمل نیروی جانبی صرفنظر نمود، زیرا در طبقات پایینی ساختمان سهم دیوارهای برشی از نیروی زلزله به مراتب بالاتر از سهم قاب‌های خمشی می‌باشد [۶].

۳. هدف از انجام این تحلیل‌ها، پیداکردن اثر نسبت جرم بر انعطاف‌پذیری دیافراگم‌ها می‌باشد. لذا زیادکردن تعداد دهانه‌ها یا تعداد طبقات تنها باعث کثرت نتایج مشابه به هم می‌شود.

۳- نحوه انجام تحلیل‌ها

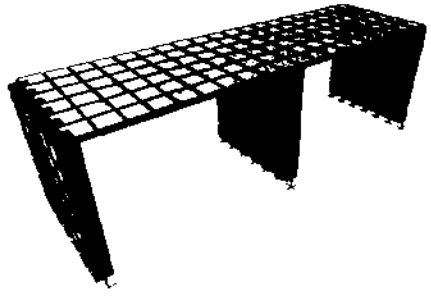
برای یافتن پاسخ سازه‌ها از تحلیل دینامیکی طیفی با توجه به طیف پاسخ مندرج در پیوست ۳ استاندارد ۲۸۰۰ استفاده شده است. بار زلزله تنها در امتداد عرض سازه وارد شده و از زلزله در امتداد دیگر صرفنظر شده است. برای به دست آوردن پاسخ‌ها از ۱۰۰ مود اول ارتعاش و به منظور ترکیب حداکثر پاسخ مودهای مختلف نیز از روش CQC استفاده شده است. همچنین زمین از نوع ۳، $R=7$ (سیستم قاب ساختمانی با دیوار برشی بتن آرمه معمولی) و $I=1$ فرض شده است.

۴- اثر نسبت جرم بر انعطاف‌پذیری دیافراگم‌ها

به منظور بررسی اثر نسبت جرم‌های مختلف کف به دیوار بر صلبیت دیافراگم‌ها در سازه‌های حاوی دیوار برشی، در این بخش از مدل نمونه ذکر شده، استفاده شده است (شکل (۱)). جهت

وارد کردن اثر نسبت‌های مختلف سختی، هشت ضخامت مختلف (۲ تا ۱۰۰ سانتی‌متر) برای کف و دیوار فرض شده و سازه در دو نسبت جرم مختلف دیوار و کف در کل ۱۲۸ بار مورد تحلیل قرار گرفته است. برای جلوگیری از اثر جرم ناشی از تغییر ضخامت کف و دیواره‌ها، جرم ثابتی به صورت گرهی در گره‌های کف و هم‌چنین دیوارها پخش شده و کف و دیواره‌ها بدون جرم فرض شده است. در این حالت تغییر ضخامت تنها باعث تغییر نسبت سختی‌ها می‌گردد.

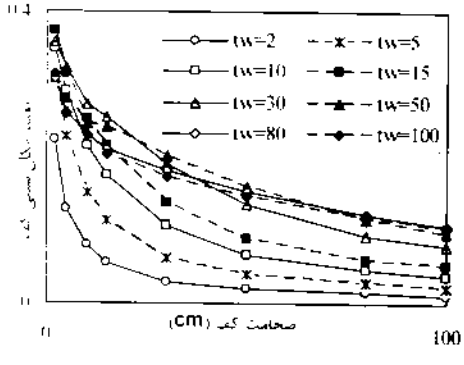
برای شبکه‌بندی کف‌ها و دیوارها از المان‌های ۵ ×۵ ۰ متر استفاده شده است. دقت شبکه با مقایسه پاسخ‌های بدست آمده برای یک گره مشترک در دو المان مجاور کنترل شده است.



شکل ۱- نمایی از سازه مورد تحلیل در این پژوهش

معیار انعطاف‌پذیری، تغییر مکان خالص کف نسبت به تغییر مکان متوسط دیوارها می‌باشد. واضح است که هرچه کف انعطاف‌پذیرتر باشد این نسبت افزایش خواهد یافت.

در اولین دسته تحلیل‌ها، سازه تنها تحت اثر جرم کف و دیوارها مورد تحلیل قرار گرفته، سپس به منظور تغییر نسبت جرم، از جرم دیوارها در مقایسه با جرم کف صرف نظر شده و دیوارها بدون جرم در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ۲- تغییر مکان نسبی کف در ضخامت‌های مختلف دیوار، در سازه‌های تحت اثر جرم کف و دیوار

۴-۱- دسته اول: سازه تحت اثر جرم دیوار و کف

نمودارهای شکل (۲) نمایانگر نتایج حاصل از تحلیل دسته اول ساختمان‌ها می‌باشد. در این شکل برای ضخامت‌های مختلف دیوارها (tw)، نمودارهای جداگانه‌ای ترسیم شده است.

با توجه به نمودارهای ترسیم شده، چند نتیجه حاصل می‌شود:

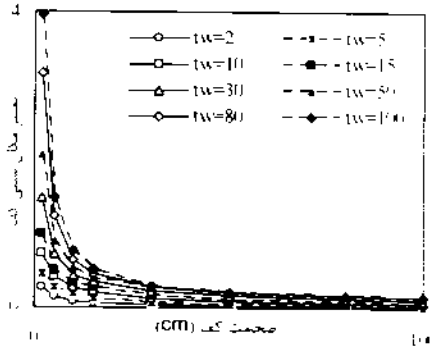
۱. با زیاد شدن ضخامت کف، تغییر مکان نسبی کاهش پیدا کرده و سیر نزولی نمودار، نشانگر پیشروی رفتار کف به سمت صلبیت می‌باشد. همانطور که انتظار می‌رود، افزایش ضخامت کف باعث کاهش انعطاف‌پذیری و افزایش صلبیت آن می‌گردد.

۲. به جز در برخی نقاط ابتدایی و در دیوارهای با ضخامت بسیار زیاد، در ضخامت کف ثابت، هرچه ضخامت دیوار افزایش یابد، نقاط منحنی به سمت بالا حرکت کرده و نسبت تغییر مکان‌ها افزایش پیدا می‌کند، که این خود بدان معناست که با افزایش ضخامت دیوار، رفتار کف انعطاف‌پذیرتر شده و در نتیجه نسبت تغییر مکان‌ها نیز افزایش پیدا خواهد کرد.

۳. در برخی نقاط ابتدایی منحنی‌ها و در دیوارهای با ضخامت بسیار زیاد، با افزایش ضخامت دیوار در کف‌های با ضخامت کم، گاه رفتار کف به سمت صلبیت پیش می‌رود.

۴-۲- دسته دوم: سازه با صرف نظر از جرم دیوار

در این بخش دسته دوم سازه‌ها، یعنی سازه‌های با دیوارهای بدون جرم ولی با همان سختی قبل برای ضخامت‌های مختلف دیوار مورد بررسی قرار می‌گیرند (شکل(۳)).

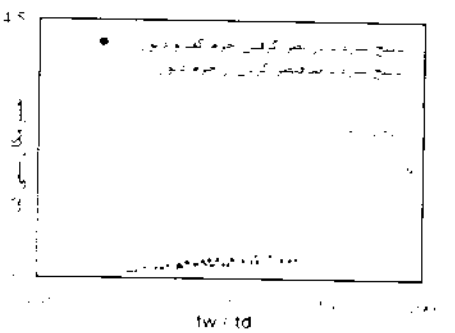


شکل ۳- تغییر مکان نسبی کف در ضخامتهای مختلف دیوار، در سازه‌های تحت اثر جرم کف با صرفنظر از جرم دیوارها

تنها تفاوتی که در این نمودارها نسبت به نمودارهای قبل مشاهده می‌گردد، عدم وجود ناهماهنگی در ابتدای منحنی‌ها و

در دیوارهای با ضخامت‌های بالا می‌باشد. این امر نشان دهنده نتیجه بسیار مهمی است. همانطور که از مقایسه دو نمودار پیداست، نمودارهای دسته دوم که تا حدودی از نظر عملی، غیر واقعی نیز می‌باشند (به علت صرفنظر کردن از جرم دیوارها) دقیقاً رفتاری را از خود بروز می‌دهند که با توجه به داده‌های پیشین مورد انتظار ما بوده است. در حالی که بررسی نمودارهای دسته اول حاکی از آنست که چنانچه جرم کف در مقایسه با جرم دیوار ناچیز باشد، هرچند نسبت سختی کف به دیوار کم بوده و انتظار رفتار انعطاف‌پذیری از کف داشته باشیم، ولی در عمل کف به صورت نسبتاً صلب عمل خواهد کرد، زیرا در اینجا جرم دیوار خود را بر کف تحمیل کرده و رفتار کف را از انعطاف‌پذیری به سوی صلبیت میل خواهد داد.

اینک برای یافتن اثر جرم به مقایسه دو حالت پیشین بر روی یک شکل می‌پردازیم. شکل (۴) که تمامی نتایج قسمت قبل را یکجا در برمی‌گیرد، نمودار لگاریتمی نسبت تغییر مکان به نسبت ضخامت‌ها می‌باشد. این دو نمودار که هریک مربوط به یکی از دسته‌های ذکر شده می‌باشند حاکی از آن هستند که اولاً در ضخامت‌های بالای دیوار و ضخامت‌های پایین کف، رفتار کف‌ها به سمت انعطاف‌پذیری میل داده می‌شود و ثانیاً رفتار سازه‌های دسته دوم، با نسبت جرم کف به دیوار بیشتر، به مراتب انعطاف‌پذیرتر از سازه‌های دسته اول می‌باشد. یعنی هرچه نسبت جرم کف به دیوار افزایش پیدا کند، کف سازه رفتار انعطاف‌پذیری از خود نشان می‌دهد

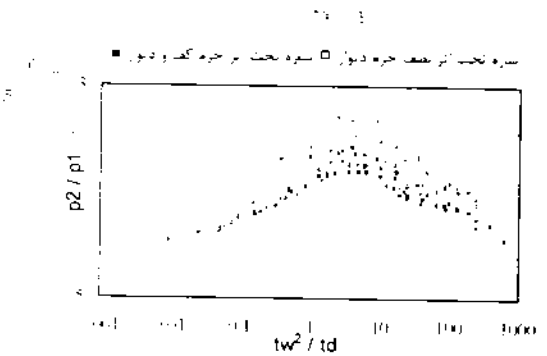


شکل ۴- نمودار لگاریتمی تغییر مکان نسبی کف بر حسب نسبت ضخامت‌ها

۵- اثر جرم برچگونگی توزیع نیروی جانبی

یکی از اثرات مهم انعطاف‌پذیری کف‌ها در سازه، نحوه توزیع بار جانبی بین قاب‌های مقاوم سازه می‌باشد به قسمی که چنانچه کف صلب باشد، بار جانبی دقیقاً به نسبت سختی دیوارها مابین آنها تقسیم خواهد شد و چنانچه کف نیمه صلب باشد، پخش بار تابعی از عوامل دیگری غیر از سختی مطلق دیوارها نیز خواهد بود.

در این بخش تحلیل‌ها در سه گروه مجزا انجام خواهد شد. هر دسته تحلیل، شامل ۶۴ حالت مختلف نسبت سختی می‌باشد. تفاوت مابین گروه‌ها، نسبت جرم کف به دیوار متفاوت آنها است، به گونه‌ای که در دسته اول سازه تحت اثر جرم کف و دیوار قرار دارد، در دسته دوم جرم دیوارها به نصف تقلیل یافته و در دسته سوم از جرم دیوارها صرف نظر شده است. در این قسمت از آنجا که سازه‌های متعددی از نظر نسبت صلبیت کف به دیوار مورد بررسی قرار گرفته‌اند، به منظور پیدا کردن یک رابطه تقریبی، پاسخ‌ها در یک نمودار لگاریتمی بر حسب رابطه نسبت بارها با نسبت مناسبی از مشخصات هندسی سازه تنظیم شده اند. محور عمودی نمودارهای لگاریتمی به دست آمده، نسبت نیروی دیوار میانی به دیوارکناری P2/P1 و محور افقی نسبت توان دوم ضخامت دیوار tw به ضخامت کف td می‌باشد. این نسبت به گونه‌ای تنظیم شده است که یک منحنی آماری گوسی شکل را تشکیل داده و تمامی پاسخ‌های سازه حول این منحنی متمرکز شده‌اند.

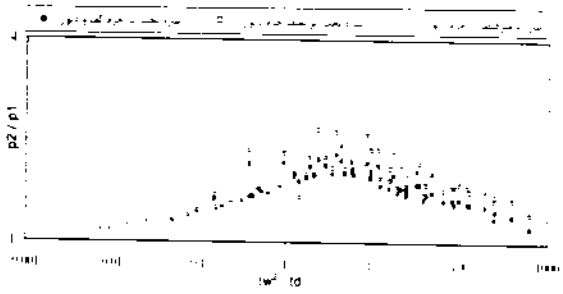


شکل ۵- نمودارلگاریتمی نسبت P2/P1 بر حسب tw^2 / td در دو حالت نسبت جرم مختلف

در شکل (۵) منحنی‌های حاصل از دسته اول و دوم تحلیل نمایش داده شده‌اند. بررسی این منحنی‌ها نشان می‌دهد که ... با توجه به اینکه به طور طبیعی با افزایش نسبت انعطاف‌پذیری، میزان نسبت بارگیری دیوار وسطی به دیوار گیری (که دارای سختی‌های یکسانی هستند) از نسبت ۱ شروع

گرفته و بیشتر می‌شود، افزایش نسبت جرم کف به دیوارها باعث صعود منحنی به سمت بالا و ظاهر شدن اثرات انعطاف‌پذیری در کف‌ها می‌گردد.

۲. مجانب منحنی در نقاطی که کف به سمت صلبیت پیش می‌رود، خط P2 P1= 1.0 می‌باشد. همچنانکه عنوان شد، پیش بینی می‌شود که با پیشروی منحنی به سمت راست سیر صعودی آن ادامه داشته باشد، اما نقاط منحنی پس از پیمودن یک شاخه صعودی و گذراندن یک ماکزیمم دوباره به سمت مجانب P2 P1=1.0 همگرا می‌شود. بررسی‌ها بر روی این سازه نشان می‌دهد که با ثابت نگه داشتن سختی‌ها و صرفنظر کردن از جرم دیوارها پایین آمدن نمودار در این نقاط تنها به علت اثر جرم دیوارهای سنگین در کف‌های انعطاف‌پذیر نازک اتفاق می‌افتد.



شکل ۶- نمودارلگاریتمی نسبت P2/P1 بر حسب tw^2/td در سه حالت نسبت جرم مختلف

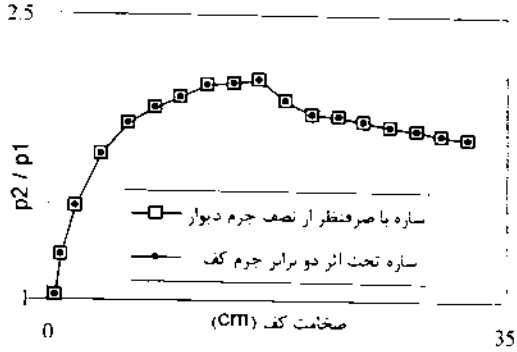
در شکل (۶) اثر حذف جرم دیواره در سه حالت نشان داده شده است. شاخه سمت راست منحنی پاسخ سازه با دیوارهای بدون جرم، سیر نزولی نداشته و به سمت مجانب P2 P1=2.0 که معرف کف انعطاف‌پذیر کامل می‌باشد، همگرا می‌شود.

در این حالت نیز مشاهده می‌گرددکه نسبت جرم دیوارها به جرم کف‌ها تأثیر بیشتری نسبت به انعطاف‌پذیری حاصل از ضخامت کم کف بر صلبیت آن داشته و لذا رفتار کف را به سمت صلبیت بیشتر سوق می‌دهد.

۶- رابطه انعطاف‌پذیری با نسبت جرم

هدف از این بحث یافتن رابطه بین نسبت جرم بین دیوار و کف با میزان صلبیت دیافراگم می‌باشد.

به این منظور ۳۶ تحلیل بر روی مدل نمونه، با ۱۸ نسبت مختلف سختی دیوار به کف و دو نسبت جرم متفاوت یکی برای سازه‌ای با در نظر گرفتن جرم دیوار و دو برابرجرم کف و دیگری برای سازه‌ای با نصف جرم دیوار و جرم کف، انجام شده است. با دقت در شکل (۷) و با توجه به این که در هر دو حالت نسبت جرم بین دیوار و کف ثابت می‌باشد، میزان پخش بار و در نتیجه میزان انعطاف‌پذیری دیافراگم کف، دقیقاً متناسب با نسبت جرم بین دیوار و کف می‌باشد.



شکل۷- نسبت P2/P1 در ضخامت های مختلف کف برای دو سازه با نسبت جرم های یکسان

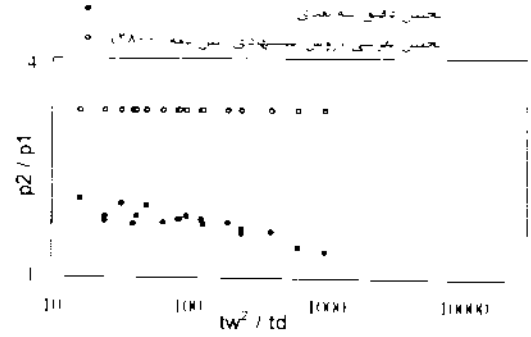
۷- مقایسه با آیین نامه ۲۸۰۰

در این قسمت مقایسه‌ای بین نتایج بدست آمده از تحلیل پیشنهادی آیین نامه ۲۸۰۰، با تحلیل سه بعدی دینامیکی همراه با در نظر گرفتن اثرات جرم بر میزان صلبیت دیافراگم‌ها و عملکرد آنها، انجام شده است.

بنا به توصیه آیین نامه ۲۸۰۰ در پیوست ۶، بند ۳- ب، در حالتی که همه تکیه گاه‌های دیافراگم دارای سختی زیاد بوده یا نسبت $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$ بسیار زیاد باشد، دیافراگم به صورت یک تیر ممتد بر روی تکیه گاه‌های صلب عمل می‌نماید [۷].

در این حالت تنها فاکتوری که در میزان باربری هر دیوار مؤثر است، میزان بار جانبی وارد بر دیافراگم می‌باشد و در تمامی حالات سهم بار هر دیوار یا هر نوع عنصر جانبی مقاوم، نسبت به سایر عناصر در سیستم از نیروی جانبی کل، میزان ثابتی می‌باشد. بطور مثال این نسبت برای یک سازه مشابه مدل نمونه که در آن تکیه‌گاه‌های دیافراگم، سختی زیادی دارند نسبت 3 10 می‌باشد. این در حالی است که نتایج تحلیل‌های سه‌بعدی با در نظر گرفتن تمامی اثرات از جمله، اثرات سختی نسبی و جرم کف و دیوارها نشان می‌دهد که این فرض در همه موارد فرض درستی نمی‌باشد. از آنجا که جرم و سختی در یک جزء سازه، تقریباً به یک نسبت تغییر می‌کنند، در حالات خاص بررسی شده، مغایرت سدیدی بین نتایج حاصل از تحلیل سه بعدی و نتایج حاصل از روش پیشنهادی آیین نامه ۲۸۰۰ مشاهده می‌گردد. زیرا با توجه به بررسی‌های انجام شده در

قسمت‌های قبل و نسخه‌های حاصله برای سازه‌های با دیوارهای صلب و کف‌های بازک، هنگامی که جرم دیوارها در مقایسه با جرم کف‌ها میزان قابل توجهی می‌باشد، اثرات انعطاف‌پذیری رفته رفته کم شده و کف‌ها رفتار صلب از خود نشان می‌دهند (شکل (۸))



شکل ۸- مقایسه نتایج حاصل از تحلیل دقیق و تحلیل تقریبی پیشنهادی آیین نامه ۲۸۰۰

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، نسبت P2 P1 در یک سازه دو دهانه در این حالت به سمت عدد ۱ میل می‌کند، در حالی که با توجه به روش آیین نامه، این نسبت در این حالت نیز همان 1.03 باقی خواهد ماند که نشانه قابل توجهی با نسخه دقیق دارد. این امر، لزوم به کارگیری نسبت‌های واقعی سختی و جرم در تحلیل ساختمان‌هایی با دیافراگم‌های حساس را آشکارتر می‌سازد.

۸- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی‌های موجود در این مقاله را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱. نحوه یک بررسی بر روی شکل‌های (۳) تا (۶) نشانگر دو مطلب می‌باشد:

- در قرائن نسبت جرم کف به دیوار درحالتیکه نسبت سختی آنها ثابت نگهداشته شده است، کف‌های سنگین‌تر، رفتار انعطاف‌پذیری بیشتر به کف‌های سبکتر از همان سختی از خود نشان می‌دهند.
- بجاد ناهمگونی در نقاط انتهایی نمودارها، در سازه‌های حاوی دیوارهای سنگین و مقایسه برخی نمودارهای این سازه‌ها برای دیوارهای با صلبیت زیاد، نشان می‌دهد که گره انعطاف‌پذیری کف شدیداً تحت تأثیر جرم دیوارها قرار می‌گیرد، به نحوی که حتی گاهی کف، ماهیت انعطاف‌پذیری خود را از دست داده و رفتار صلب از خود نشان می‌دهد.

۲. میزان صلبیت دیافراگم‌های کف و عملکرد آنها و در نتیجه میزان نحوه بار در سازه‌ها، دقیقاً متناسب با نسبت جرم بین دیوار و کف می‌باشد.

۳. نتایج‌های روش پیشنهادی آیین نامه ۲۸۰۰ در نحوه بخش بار بین اعضای مقاوم جانبی، درمورد سازه‌هایی با عناصر بتنی و سنگین، با توجه به اینکه نسبت جرم‌ها و سختی‌ها در نظر گرفته شده است، بسیار دور از واقعیت می‌باشد. چنانکه بطور مثال در برخی موارد پاسخ نسبت بارها بین دو روش تا حدود ۲۰۰ با یکدیگر اختلاف دارد.

مراجع

[۱] مصیبی، علیرضا و جلالی جهرمی، کیان، "بررسی رفتار سقف‌های انعطاف‌پذیر اورتوتروپ تحت اثر بارهای جانبی"، اولین کنفرانس بین‌المللی بتن و توسعه، تهران، ایران، اردیبهشت ۱۳۸۰، صفحه ۱۴۹ تا ۱۳۹.

[2] Doudoumis, I.N. and Athanatopoulou, A.M., "Code provisions and analytical modeling for the in-plane flexibility of floor diaphragms in building structures", J. Earth. Eng., 5(4), 2001, pp. 565-594.

[3] Tena-Colunga, Arturo and Abrams Daniel P., "Seismic behavior of structures with flexible diaphragms", J. Struct. Eng., 122, 1996, pp. 439-445.

[4] Tena-Colunga, Arturo, "Seismic evaluation of unreinforced masonry structures with flexible diaphragms", J. Earth. Spec., 8, 1992, pp. 305-317.

[5] Tena-Colunga, Arturo and Abrams Daniel P., "Simplified 3-D dynamic analysis of structures with flexible diaphragms", J. Earth. Eng. & Struct. Dyn., 24, 1995, pp. 221-232.

[۶] مشمعی، احمد، بررسی تأثیر متقابل عوامل مؤثر بر رفتار سازه‌های قاب- دیوار برشی، پایانامه کارشناسی ارشد سازه، ۱۳۸۱.

[۷] آیین نامه طرح ساختمان‌ها دربرابر زلزله(استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش دوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران، ۱۳۷۸.