

بررسی اثر صلبیت کف طبقات بر رفتار ساختمان های فولادی با مهاربند همگرا با تکیه بر اثر اندرکنش خاک و سازه

کامران هنرمند^۱، محمد امامی کورنده^۲، مهدی جلالی نژاد^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد عمران گرایش سازه موسسه آموزش عالی آبا آبیک

^۲ استادیار موسسه عمران گرایش سازه موسسه آموزش عالی آبا آبیک (نویسنده مسئول)

^۳ مدرس موسسه عمران گرایش سازه موسسه آموزش عالی آبا آبیک

چکیده

در این مطالعه موضوع صلبیت یا عدم صلبیت در برابر نیرو، به دیافراگم کف طبقات محدود شده است. با توجه به شرایط سازه در بعضی از موارد فرض صلبیت درون صفحه ای و یا خارج صفحه ای دیافراگم می تواند تا حد زیادی صحیح باشد. در بعضی از موارد خطای کم و در بعضی از موارد خطای قابل توجهی در محاسبات ایجاد نماید. در فرض صلبیت کامل، نیروهای برشی به نسبت سختی اعضای باربر جانبی توزیع می شوند در حالیکه با فرض صلبیت درون صفحه ای این مسئله کمرنگ تر شده و نتایج حاصل از آنالیز با فرض صلبیت درون صفحه ای حالت بینابینی از فرض صلبیت کامل و تحلیل واقعی دیافراگم سقف دارد و جهت ساده سازی دیافراگم سقف در مواردی که میزان خطای حاصله زیاد نباشد، بهتر است از فرض صلبیت درون صفحه ای به جای صلبیت کامل دیافراگم استفاده شود. مطلب دیگر در مورد رفتار ساختمانهای قاب فولادی بادبندی این است که در این ساختمان ها به دلیل رفتار برشی قاب و رفتار محوری بادبند، با افزایش ارتفاع ساختمان قاب سخت تر از بادبند خواهد شد و در این حالت در طبقات بالا خلاف طبقات پایین دیوار در خلاف جهت اطمینان و قاب در جهت اطمینان طراحی می شود (مقدار درصد خطای مهاربند در طبقه بالا مثبت و مقدار خطا در قاب خمشی منفی می باشد). به هر حال در ساختمان های منظم حتی با سیستم قاب فولادی همراه با مهاربند میزان خطا قابل توجه نخواهد بود.

واژه های کلیدی: صلبیت، ساختمان فولادی، مهاربند همگرا، اندرکنش خاک و سازه

۱. مقدمه

مهمترین عملکرد سیستم های کف بام و کف طبقات تحمل بارهای ثقلی و انتقال این بارها به اعضای قائم سازه ای همچون ستون ها و دیوارها می باشد. بعلاوه سیستم های کف نقش مهمی را در توزیع نیروهای جانبی به اعضای باربر جانبی ایفا می کند. نیروهای افقی که در اثر تحریکات زلزله به وجود می آیند از طریق اعضای باربر جانبی به زمین منتقل می شوند. این اعضای باربر جانبی عموماً به واسطه کف بام و طبقات ساختمان به صورت یک واحد با هم کلاف می شوند. به بیانی دیگر، سیستم های سازه ای کف بام و کف طبقات اولاً برای ایجاد یک محیط محصور و تحمل بارهای ثقلی، ثانیاً به صورت دیافراگم افقی جهت جمع آوری و توزیع نیروی زلزله ایجاد شده در اثر اینرسی جرم های متصل به دیافراگم و انتقال آن به اعضای باربر جانبی مانند دیوارهای برشی، بادبندها و یا قاب های خمشی به کار می روند. بنابراین دیافراگم کف طبقات به منظور تحمل بارهای مرده و زنده و بارهای افقی مانند زلزله در ساختمان نقش مهمی را ایفا می کنند. این سیستم های سازه ای همچون اعضای سازه ای دیگر تحت اثر این بارها مورد آنالیز قرار گرفته و طراحی می شوند. بدیهی است که یک طرح خوب و صحیح با در نظر گرفتن واقعیتهای موجود در مقدار و توزیع بار میسر خواهد بود. هر قدر مشخصات مدل با مشخصات و رفتار واقعی سازه انطباق بیشتری داشته باشد، نتایج محاسبات دقیقتر و قابل اعتمادتر خواهد بود، در این راستا به نظر می رسد که اختلاف بین واقعیت و مدل ساخته شده که در برخی از موارد ممکن است خطای زیادی را در آنالیز به وجود آورد عبارت است از:

عدم دانش کافی راجع به برخی از رفتارهای واقعی سازه

عدم وجود امکانات کافی جهت مدلسازی های بهتر از قبیل نرم افزار رایانه ای که بتواند مدل را با حجم و اندازه های بالا آنالیز نماید.

بی ارزش شمردن و اهمیت ندادن به برخی از رفتارهای واقعی سازه و عدم تأثیر واقعی این رفتارها در نتایج آنالیز. این اختلاف بین واقعیت و مدل ساخته شده جهت آنالیز، در برخی از حوادث طبیعی مانند زلزله، سیل، طوفان و غیره موجب کشته شدن و بی خانمان شدن تعداد کثیری از انسانها از یک طرف و صدمه های اقتصادی هنگفت از طرف دیگر می شود. در این جا وظیفه یک مهندس ساختمان خطیرتر و جدی تر شده تا با به کارگیری یک طرح مناسب و اجرا و نظارت صحیح آن این خسارات را کاهش دهد.

توزیع نیروهای افقی بین اعضای باربر جانبی که توسط دیافراگم افقی صورت می گیرد بستگی به نسبت سختی اعضای باربر جانبی به سختی دیافراگم و سختی اعضای باربر جانبی نسبت به یکدیگر دارد. دیافراگم ها از نظر سختی نسبی به سه گروه صلب، نیمه صلب و انعطاف پذیر تقسیم می شوند. دیافراگمی که بتواند نیروهای افقی را به اعضای باربر جانبی به نسبت سختی آنها توزیع کند، دیافراگم صلب نامیده می شود. در مورد دیافراگم های صلب میزان تغییر شکل دیافراگم در مقایسه با تغییر شکل اعضای قائم باربر جانبی ناچیز خواهد بود. در دیافراگم های انعطاف پذیر توزیع نیروی زلزله بین اجزاء قائم مقاوم به نسبت سطح بارگیر و جرم مرتبط با هر عنصر قائم باربر جانبی انجام می گردد و عملاً عناصر قائم مقاوم با یکدیگر هیچگونه ارتباطی نداشته و مستقل از یکدیگر عمل می کنند و در آنالیز سازه نیز مدلسازی کلی بایستی به نحوی باشد که این عملکرد مستقل اجزای قائم باربر جانبی لحاظ گردد.

در واقع دیافراگم های کاملاً صلب و یا کاملاً انعطاف پذیر وجود ندارد. در بعضی از موارد تغییر شکل دیافراگم و اعضای باربر جانبی در یک حدند و نمی توان مطلقاً آن را صلب یا انعطاف پذیر فرض کرد. چنین دیافراگمی را نیمه صلب می نامند. در دیافراگم های نیمه صلب تحلیل کار سازه باید با منظور نمودن اثرات سختی دیافراگم ها انجام گردد.

در این حالت روش دقیق تر آن است که دیافراگم به صورت اجزاء محدود مدل شده و همراه با سایر اجزاء سازه (تیرها، ستون ها، دیوارها و بادبندها) آنالیز گردد. بدیهی است در این حالت نیروهای زلزله وارد به دیافراگم نباید به صورت متمرکز (وارد بر مرکز ثقل طبقه یا هر نقطه دیگری) وارد شده بلکه باید به صورت گسترده و با توجه به تغییرات جرم در طول دیافراگم اعمال گردد. در روش دیگر که به مراتب ساده تر است و دارای دقت قابل قبولی نیز می باشد، دیافراگم را می توان همانند یک تیر یک یا چند دهانه فرض نمود که بر روی تکیه گاه هایی که همان عناصر قائم باربر جانبی می باشند واقع گردیده است.

جان تیر همان صفحه افقی دیافراگم و بال های آن تیرهای لبه های طولی دیافراگم می باشد. تکیه گاه ها به صورت فنر نمایش داده می شوند و سختی و طولی فنرها برابر با سختی جانبی عناصر یا سیستمهای باربر جانبی منظور می شوند. متداول است که جهت صرفه جویی در زمان و کم کردن حجم محاسبات فرض های ساده کننده ای جهت مدل سازی کف دیافراگم در نظر گرفته می شود. مساله اصلی تحقیق حاضر به بررسی اثر صلبیت کف در رفتار سازه های فولادی دارای سیستم مهاربندی می-پردازد. تحقیقات پیشین تکیه گاه های سازه را صلب فرض کرده و عملاً تأثیر اندرکنش خاک و سازه حذف بوده است. ضریب رفتار به عنوان یکی از پارامترهای اصلی سازه نیز تأثیر مستقیمی از روی اندرکنش خاک و سازه خواهد داشت. پیش بینی می-شود اندرکنش خاک و سازه هم از لحاظ تغییر شکل و هم از لحاظ نیروی برش پایه تأثیرگذار باشد. بنابراین بدیهی است بر روی رفتار سازه فولادی نیز تأثیرگذار خواهد بود.

اهمیت و ضرورت انجام این تحقیق بر این پایه استوار است که صلب بودن یا صلب نبودن کف ها بر توزیع نیروی زلزله در سازه های فولادی تأثیرگذار می باشد. در نتیجه با بررسی های دقیق بر روی انواع پلان سازه و اعمال زلزله های مختلف، چشم انداز روشنی را در خصوص چگونگی توزیع این نیروها را به دست می دهد؛ که به طور قطع نتیجه ی این تحقیق در طراحی بهتر ساختمان های فولادی تأثیر بسزایی دارد. همچنین در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در مدلسازی اثر صلبیت کف در این تحقیق نشان از اهمیت موضوع تحقیق دارد. اختلاف بین واقعیت و مدل سازی در طراحی و عدم شناخت صحیح از عملکرد اجزاء سازه باعث صدمات جانی و مالی جبران ناپذیری خواهد شد. هدف آرمانی و کلی در این تحقیق، طراحی و نظارت صحیح مهندسی جهت از بین بردن این خسارات می باشد. هدف بعدی در نظر گرفتن اندرکنش خاک سازه در رفتار سازه های فولادی با اثر صلبیت کف است.

۲. پیشینه پژوهش

صلبیت یک جسم در برابر نیرو به صورت عدم تغییر مکان نسبی دو نقطه دلخواه از جسم نسبت به یکدیگر تعریف می شود، هر چند هیچگاه نمی توان ادعا کرد که جسم کاملاً صلب عمل کند و در مقابل نیرو دچار تغییر شکل نشود، اما با این وجود در بعضی از موارد عملی در صورت کوچک بودن نسبت تغییر مکان ها می توان جسم را تقریباً در برابر نیرو و در راستای مورد نظر صلب فرض نمود. صلبیت جسم در برابر نیرو کاملاً وابسته به مواد تشکیل دهنده و ابعاد آن دارد. در این مطالعه موضوع صلبیت یا عدم صلبیت در برابر نیرو، به دیافراگم کف طبقات محدود شده است. با توجه به شرایط سازه در بعضی از موارد فرض صلبیت درون صفحه ای و یا خارج صفحه ای دیافراگم می تواند تا حد زیادی صحیح باشد. در بعضی از موارد خطای کم و در بعضی از موارد خطای قابل توجهی در محاسبات ایجاد نماید. چهار حالت زیر برای رفتار خود دیافراگم قابل تصور می باشد که البته فرض اول قبلاً و فرض دوم در چند دهه اخیر بسیار مورد استفاده قرار گرفته است:

- ✓ فرض صلبیت کامل دیافراگم (درون صفحه ای و خارج صفحه ای)
- ✓ فرض صلبیت درون صفحه ای و انعطاف پذیری خارج صفحه ای دیافراگم.
- ✓ فرض رفتار کاملاً انعطاف پذیر دیافراگم
- ✓ رفتار واقعی دیافراگم

مطالعه (tena-colunga & P.Abrams., 1996) تحت عنوان «رفتار لرزه ای ساختمانها با دیافراگم انعطاف پذیر» می باشد. در این تحقیق نشان داده شده است که در دیافراگم های با انعطاف پذیری زیاد اثرهای پیچش اتفاقی کم اهمیت تر بوده و نیازی به منظور نمودن این اثرها نمی باشد.

مطالعه (Naeim 1989, 378-381) تحت عنوان «کتاب مرجع طراحی سازه ها در برابر زلزله» می باشد. در بخشی از این کتاب در ابتدا به بررسی مواردی که ایجاد نقاط ضعف در دیافراگم ساختمان می کند و نیاز به مدل سازی المان محدود دارد

پرداخته است، پس از آن نیز مثالهایی ارائه شده که در آنها دیافراگم کف تحت اثر بارهای زلزله آنالیز شده و پس از آن دیافراگم طراحی شده است.

مطالعه (Saffarini & Qudaimat., 1992) تحت عنوان «تغییر شکل درون صفحه ای دیافراگم کف در ساختمانهای بتن آرمه می باشد. در این تحقیق ۳۷ ساختمان در حالت های گوناگون مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصاتی که در این تحقیق مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفته عبارتند از: تعداد طبقات، ارتفاع طبقه، نسبت ابعاد و وضعیت پلان ساختمان، منظمی یا نامنظمی در پلان ساختمان، وجود بازشو در دال، و ابعاد و فواصل ستون ها و دیوارهای برشی، در این بررسی برای هر ساختمان یک مدل سه بعدی از المان های محدود مورد استفاده قرار گرفته است. در مورد هر ساختمان دو آنالیز انجام شده است، در اولین حالت تمام درجات آزادی موجود در سازه مدنظر قرار گرفته است و در دومین حالت، برای هر کف سه درجه آزادی مستقل در نظر گرفته شده که دو درجه آزادی مربوط به حرکت صلب کف در دو امتداد عمود برهم در صفحه دیافراگم و یک درجه آزادی مربوط به دوران صلب کف حول محور عمود بر دیافراگم می باشد. در نهایت خطای نتایج راه حل دوم (حالت دیافراگم صلب) برای پارامترهای مورد نظر تعیین شده است. برای مقایسه از تغییر مکان های جانبی ستون ها و دیوارهای برشی و همچنین برش طبقات استفاده شده است. همچنین یک رابطه تجربی ساده برای تخمین میزان خطا پیشنهاد شده است.

همانطور که قبلاً ذکر شد هر ساختمان در دو حالت، ابتدا با فرض دیافراگم صلب و بعد با استفاده از مدل المان محدود و با در نظر گرفتن تغییر شکل پذیر بودن دیافراگم، مورد آنالیز قرار گرفته است. در آنالیز از بارهای جانبی معادل استاتیکی به جای تحریکات ناشی از زلزله، استفاده شده است.

در محاسبات از تأثیر میل گردهای فولادی در سختی مقطع، صرف نظر شده است. بنابراین برای دال های دو طرفه یک ماتریس ایزوتروپیک مورد استفاده قرار گرفته است.

در این تحقیق برای مدل سازی، هر پانل به ۱۶ المان (المان های $1\text{ m} \times 1\text{ m}$) تقسیم شده است، البته پس از بررسی های به عمل آمده مشخص شده که این ابعاد المان نتایج قابل قبولی می دهد. نتایج نشان می دهد که فرض صلبیت درون صفحه ای تنها برای ساختمان های قاب خمشی بسیار مناسب و نزدیک به واقعیت می باشد، اما در ساختمان های دارای دیوار برشی استفاده از فرض صلبیت دیافراگم باعث بروز خطاهای قابل توجهی در تحلیل خواهد شد بزرگی و مقدار خطا در نتایج تابعی از نسبت سختی درون صفحه ای دال به سختی سیستم باربر جانبی سازه است.

با استفاده از نتایج به دست آمده یک قاعده ساده و تقریبی برای تخمین حدود خطای استفاده از فرض دیافراگم صلب، ارائه شده است این قاعده برای ساختمان های دارای قابل خمشی تنها کاملاً محافظه کارانه و برای ساختمان های دارای دیوار برشی غیر محافظه کارانه می باشد.

مطالعه (Doudoumis & Athanatopoulou., 1998) تحت عنوان «مدل سازی عملکرد دیافراگم کف طبقات ساختمان های چند طبقه با مدل های المان محدود دو بعدی» می باشد. هدف این تحقیق علاوه بر بررسی نحوه عملکرد دیافراگم در حالت انعطاف پذیر و مقایسه آن با حالت صلب، مقایسه نوعی مدلسازی المان محدود ساده تر با حالت دقیق تر نیز می باشد. برای حالت ساده تر از یک شبکه المان محدود بزرگتر استفاده شده است.

در این تحقیق یک نوع مدلسازی با المانهای نسبتاً بزرگ پیشنهاد و مورد بررسی قرار گرفته است. در این المان بندی، تفکیک سازی المان ها به گونه ایست که نقاط محل اتصال اعضای سازه ای قائم به دیافراگم کف حتماً جزء گره های این المان بندی باشند. بدین منظور سازه های ساختمانی مختلفی با اشکال گوناگون پلان کف، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

برای هر سازه، نتایج مدل ساده پیشنهادی، با نتایج دقیق تر یک ریز مدل مناسب با شبکه های تفکیکی ریزتر و نیز با نتایج مدل معروف دیافراگم صلب مقایسه می شود. این تحقیق تحلیلی و مقایسه ای، کارایی روش پیشنهادی را نشان می دهد همچنین از طرف دیگر عدم کفایت مدل دیافراگم صلب را در بسیاری از موارد اثبات می نماید. از آنجائیکه مدل سازی نامناسب برای رفتار دیافراگم کف طبقات منجر به نتایج غیر دقیق در ارتباط با تغییر مکان ها و نیروهای هر یک از المان های مقاوم

سازه ای میشود، ضرورت یک مدل سازی مطمئن برای مدل کردن رفتار انعطاف پذیری دیافراگم کف طبقات احساس می شود. معمولاً فرض ساده کننده صلبیت درون صفحه ای دیافراگم در صورتی نتایج رضایت بخشی به همراه دارد که پلان کف طبقات ساختمان از یک شکل منظم، برخوردار باشد سختی جانبی المان های عمودی در مقایسه با سختی درون صفحه ای دیافراگم کوچک بوده و به طور یکنواخت در پلان توزیع شده باشد.

از سوی دیگر فرض مزبور (دیافراگم صلب) زمانی ناکافی خواهد بود که شکل پلان کف طویل باشد، بازشوهایی با ابعاد قابل توجه داشته باشد و یا به شکل T, II, L و غیره باشد. در این گونه موارد انعطاف پذیری درون صفحه ای کف را بایستی در نظر گرفت. استفاده از المان های محدود - دو بعدی برای مدل سازی یک روش مطمئن و دقیق می باشد. در مدل های المان محدود با شبکه ریزتر، نیروهای اینرسی زلزله معمولاً در همه نقاط گرهی شبکه دیافراگم، که جرم های گرهی در آنجا متمرکز است، قابل اعمال می باشد که این موضوع باعث افزایش دقت بیشتر محاسبات خواهد شد. اما در یک شبکه تفکیکی درشت جرم هر المان را باید در گره های اطراف متمرکز نمود که این موضوع با توجه به بزرگی ابعاد المان، دقت محاسبات را کاهش می دهد به هر حال شبکه بندی ریزتر، بهتر می تواند رفتار و سختی دیافراگم را توصیف نماید.

در هر دو مدل المان محدود، نیروهای اینرسی زلزله در نقاط گرهی شبکه درشت اعمال شده اند تا از نظر بارگذاری هر دو حالت با هم یکسان باشند. در مدل دیافراگم صلب، نیروهای اینرسی بر مرکز ثقل هر دیافراگم وارد شده است. پارامترهای اساسی بر هم کنش الاستیک بین دیافراگم ها و اعضای قابی سازه از قبیل تیرها، ستون ها، دیوارها و غیره عبارتند از:

سختی درون صفحه ای دیافراگم در مقایسه با سختی جانبی المان های مقاوم عمودی و موقعیت قرارگیری آنها در پلان کف طبقات. مورد اول به مصالح، ضخامت، شکل و ابعاد دیافراگم طبقات و اعضای سازه ای و همچنین ارتفاع طبقه بستگی دارد. چنانچه سختی درون صفحه ای دیافراگم در مقایسه با سختی جانبی دیوارها و ستون ها کوچکتر شود، تأثیر انعطاف پذیری درون صفحه ای بر مقدار و توزیع نیروی دیوارها و ستون ها بیشتر خواهد شد. در نمونه های عددی سازه های ارائه شده، دقت خاصی مبذول شده است تا اثرات انعطاف پذیری دیافراگم بر توزیع نیروی ستون ها و دیوارها معنا پیدا کند، به همین منظور ضخامت دیافراگم ها و ارتفاع طبقه کوچک در حد متعارف انتخاب شده است. (مثلاً ۱۲ سانتیمتر برای ضخامت دال و ۳ متر ارتفاع طبقه).

اگرهدف اصلی از مطالعه تحلیلی به جای تعیین جزئیات تنش ها و نیروهای موجود در دیافراگم طبقات، تعیین جابجایی و وضعیت نیروی اعضای مقاوم جانبی باشد در آن صورت حتی یک شبکه تفکیکی درشت می تواند نتیجه مطلوبی داشته باشد. این نتیجه گیری معلول این واقعیت است که مقدار نیروها در اعضای قابی سازه (یعنی ستون ها، دیوارها و غیره) بیشتر به مقادیر جابجایی در نقطه های گرهی دیافراگم کف طبقات که در آن متصل شده اند، بستگی دارد.

یک شبکه بندی درشت برای توصیف حالت تنش دیافراگم کافی نیست اما برای توصیف جابه جایی های اعضای باربر جانبی و در نتیجه برای نیروهای قاب میتواند کفایت کند ولی باید توجه داشت که این شبکه تفکیکی درشت حتماً کلیه نقاط اتصال المان های عمودی سازه با دیافراگم هر طبقه را در برگیرد.

در مدل های المان محدود ساده شده، المان صفحه ای (SHELL) ۴ گرهی که خمش های درون صفحه ای در آنها منظور شده باشد، نتایج بسیار خوبی می دهد. پس از بررسی نتایج به دست آمده مشاهده شده است که در شرایطی که شکل پلان کف طویل باشد، بازشوهایی موجود در دال ابعاد قابل توجهی داشته باشند یا اشکال و حالت های شبیه T, H, L, II و غیره داشته باشند. مدل دیافراگم صلب نمی تواند نتایج مناسبی برای تغییر مکان ها و نیروها در المان های عمودی مقاوم سازه در پی داشته باشد.

در چنین مواردی، در مدل سازی دیافراگم لازم است که انعطاف پذیری درون صفحه ای دیافراگم کف طبقات در نظر گرفته شود که این امر با استفاده از مدل های المان محدود ساده شده (المان بندی با شبکه تفکیکی درشت) نیز تا حد قابل قبولی میسر خواهد بود. البته نتیجه گیری های فوق با توصیه های آئین نامه های اروپایی (۹۴) مربوط به مدل سازی تحلیلی سیستم های سازه ای در ساختمان های بتنی، فولادی، کمپوزیت و آجری سازگار نیست، چرا که آئین نامه های اروپایی متأسفانه برای

این ساختمان ها استفاده از مدل دیافراگم صلب را، حتی در مواردی که برای تحلیل از روش دینامیکی استفاده می شود، مجاز دانسته است.

مطالعه (Jain., 1984) تحت عنوان «پاسخ لرزه ای ساختمانها با کفهای انعطاف پذیر» می باشد. در این مطالعه نیز از یک تیر انعطاف پذیر با تغییر شکلهای برشی جهت راه حلی برای مدل کردن رفتار انعطاف پذیر دیافراگم کف ساختمانها تحت اثر بارهای دینامیکی استفاده شده است.

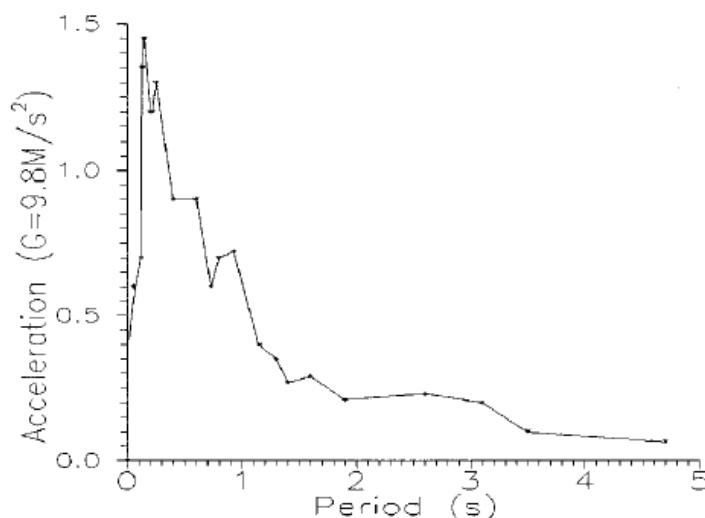
مطالعه (Lin & Ju., 1999) تحت عنوان «مقایسه فرض صلبیت یا انعطاف پذیری دیافراگم در آنالیز ساختمان ها» می باشد. این تحقیق به بررسی تأثیر و اختلاف بین کف های صلب و انعطاف پذیری در آنالیز سازه ها پرداخته است. تعدادی از ساختمانهای مستطیل، U, T شکل در ۵۲۰ حالت با استفاده از دیافراگم کف صلب و دیافراگم انعطاف پذیری آنالیز شده اند. برای آنالیز سازه ها در حالت دیافراگم صلب، از گره مرجع استفاده شده و تغییر مکان در دو راستای عمود بر هم در صفحه دال، و دوران حول محور عمود بر صفحه دال در تمام گره ها به گره مرجع وابسته شوند.

به این ترتیب تغییر مکان هر گره وابسته، یک ترکیب خطی از تغییر مکان و دوران گره مرجع خواهد بود. در تمام سازه های متمرکز جرم کف طبقه، به عنوان گره مرجع انتخاب شده است. سه درجه آزادی دیگر گره های و بسته عبارتند از: دو درجه آزادی دورانی خارجی صفحه ای و یک درجه آزادی انتقالی عمود بر صفحه دال، که این درجات آزادی برای هر گره به صورت مستقل، آزاد گذاشته شده است. بنابراین تعداد کل درجات آزادی یک دیافراگم کف، برابر است با سه برابر تعداد گره های وابسته به اضافه تعداد درجات آزادی گره مرجع. برای آنالیز سازه ها در حالت دیافراگم انعطاف پذیر، برای هر گره شش درجه آزادی در نظر گرفته شده که عبارتند از: سه درجه آزادی انتقالی در سه جهت Z, Y, X و سه درجه آزادی دورانی در حول این سه محور، بنابراین تعداد درجات آزادی در این حالت در حدود دو برابر تعداد درجات آزادی در حالت سقف صلب خواهد بود.

در مدل سازی ساختمان ها، از المان های تیری سه بعدی برای مدل سازی اعضای قابی و المان های SHELL برای مدل سازی دیافراگم کف استفاده شده است. جهت آنالیز ساختمانها از تحلیل طیف پاسخ استفاده شده است.

نیروهای جانبی استاتیکی معادل در ساختمان های با سقف صلب، به صورت افقی در مرکز جرم دیافراگم قرار داده شده اند. البته جمع کردن این نیروها در مرکز جرم در حالتی که دیافراگم به صورت انعطاف پذیر مدل می شود، فرض درستی نمی باشد. بنابراین آنالیز دینامیکی ساده، توزیع واقعی تر و بهتری از نیروی جانب زلزله را در حالت دیافراگم انعطاف پذیر می دهد و رفتار سازه با دقت بیشتری مدل می شود. البته لازم به توضیح است که نیروهای ایجاد شده در سازه از دو نوع تحلیل، طیف پاسخ و شتاب زمان قابل محاسبه هستند اما در آنالیز تاریخچه زمانی به سادگی نمیتوانیم نتایج حالت صلب را با حالت انعطاف پذیر مقایسه کنیم زیرا اختلاف بین دو نتیجه ممکن است که در دو زمان متفاوت رخ داده و بررسی اختلاف یک پارامتر برای دو حالت تحلیل، در یک زمان واحد یقیناً خطای قابل ملاحظه ای را در بررسی به وجود می آورد.

در آنالیز طیف پاسخ این مشکل وجود ندارد، زیرا در این روش فقط مقادیر ماکزیمم محاسبه می شوند. بنا به توضیحات فوق در تحلیل سازه ها، از روش طیف پاسخ استفاده شده است. همچنین از مشخصات زلزله سال ۱۹۴۰ ال سنترو در تحلیل استفاده شده است (شکل ۱) در تحلیل دینامیکی از جمع آثار قوا استفاده شده است.



(شکل ۱) طیف پاسخ زلزله ال سنترو در سال ۱۹۴۰

این مطالعه نشان داده است که مدل دیافراگم صلب در مورد ساختمان های بدون دیوار برشی حتی در مواردی که ساختمان در پلان نامتقارن بوده است، از دقت خوبی برخوردار بوده و نتایج محاسبات بسیار شبیه به نتایج حالت دیافراگم انعطاف پذیر است. این موضوع ناشی از این واقعیت است که در این گونه ساختمان ها، سختی درون صفحه ای دال نسبتاً بزرگتر از سختی جانبی ستون ها است.

دما برای ساختمان های دارای دیوار برشی، نتایج تحلیل در حالت دیافراگم صلب با نتایج تحلیل در حالت دیافراگم انعطاف پذیر، بخصوص در مواقعی که سختی جانبی دیوار برشی زیاد باشد، اختلاف زیادی را بین دو حالت تحلیل نشان می دهد در این گونه ساختمان ها، سختی درون صفحه ای دال نسبت به سختی جانبی دیوار، نسبتاً ناچیز بوده و تغییر شکل درون صفحه ای دیافراگم در این حالت موثر و غیر قابل اغماض خواهد بود. در نهایت یک فرمول تخمین خطا با استفاده از درون یابی و رگرسیون نتایج حاصل از تحلیل ۵۲۰ زوج حالت برای ساختمان های مستطیلی، T, U شکل به دست آورده شده است که با استفاده از این رابطه می توان تا حدی خطای ایجاد شده در نیروهای داخلی ستون های ساختمان های با دیوار برشی ممتد و متقارن را در حالتی که سازه با دیافراگم صلب مدل می شود، تخمین زد.

مطالعه (Muto 1974, 241-260) تحت عنوان «طرح لرزه ای ساختمانها» می باشد. در این تحقیق از یک تیر با تغییر شکل های خمشی - برشی جهت مدل کردن رفتار انعطاف پذیر دیافراگم کف ساختمانها استفاده شده است.

Dhiman Basu در سال ۲۰۰۴ به بررسی اثر انعطاف پذیری کف در رفتار لرزه ای سازه های منظم پرداخت. در این مطالعات مدلسازی سازه های فولادی در برابر زلزله با کف انعطاف پذیر مد نظر قرار گرفت. هدف بررسی لنگر پیچشی و نیروی برشی تولید شده در این سازه ها می باشد.

Sarkissian و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی رفتار لرزه ای سازه های بتنی با اثر انعطاف پذیری کف طبقات پرداختند. در این مطالعات سازه های بتنی با رفتار انعطاف پذیر کف طبقات مدلسازی شده و در برابر نیروهای زلزله قرار گرفتند.

et al Mengke Li در سال ۲۰۱۴ به بررسی اثر اندرکنش خاک و سازه در رفتار لرزه ای سازه های بلندمرتبه پرداختند. سازه مورد بررسی در این مطالعه برجی به ارتفاع ۶۳۲ متر در شانگهای بود. نرم افزار المان محدود در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت و هدف اصلی این تحقیق بررسی گسیختگی لرزه ای برج تحت تأثیر اندرکنش خاک و سازه است.

Shehata et. al در سال ۲۰۱۵ به بررسی اثر اندرکنش خاک و سازه بر رفتار لرزه ای سازه های فولادی پرداخت. در این مطالعه به بررسی انرژی انتقالی از خاک به سازه تحت زلزله پرداخته شده است. اثر اندرکنش خاک و سازه در اتلاف این انرژی و میزان

اثر آن بر روی تغییر مکان احتمالی بررسی شده است. مهمترین هدف تحقیق بررسی اثر اندرکنش خاک و سازه بر سازه‌های چند طبقه می‌باشد.

با وقوع زمین لرزه‌های مخربی چون لوما پریتا در سال ۱۹۸۹ و نورتریج در سال ۱۹۹۴، این واقعیت روشن شد که روش‌های آیین‌نامه‌ای گذشته دیگر نمی‌توانند پاسخگوی طراحان باشد. با توجه به دینامیکی بودن پدیده زمین‌لرزه و عدم در نظر گرفتن پارامترهایی نظیر تابع زمانی بارگذاری، انعطاف‌پذیری و میرایی اجزاء تشکیل دهنده در روشهای استاتیکی، روشهای دقیق برای ارزیابی رفتار سازه‌ها در حین وقوع زلزله استفاده از تحلیل های دینامیکی است. از طرف دیگر انجام تحلیل های دینامیکی به علت حجم زیاد محاسبات، در بسیاری از موارد غیراقتصادی است. این عامل باعث ایجاد انگیزه‌ای بر ای محققان در جستجوی روشهای کاربردی‌تر و استفاده گسترده‌تر از این نوع روشهای تحلیل گردید.

نخستین تحقیقات در زمینه شیوه‌های مختلف طراحی غیرالاستیک سازه‌ها بر اساس رفتار دینامیکی، بر پایه معادل قرار دادن انرژی ورودی زمین لرزه و انرژی جذب شده در سازه بود. در سال ۱۹۵۶، زند اولین شخصی بود که روش طراحی سازه‌ای بر مبنای معادله انرژی را پیشنهاد نمود، یک شیوه کاملتر تحت عنوان "تکنیک انرژی ذخیره" توسط بلوما^۲ ارائه گردید و این شیوه بر روی یک ساختمان ۲۴ طبقه قاب خمشی بتنی مسلح انجام شد. از طرف دیگر موسسه مکانیک سازه در توکیو روند طراحی دینامیکی سازه‌ها را در سال ۱۹۷۳ توسعه داده و خواص خطی و غیرخطی مدل‌های سازه‌ای را بر اساس اطلاعات آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داد. آیین نامه لرزه‌ای UBC^۳ که تا سال ۱۹۹۴ (UBC-94) [۱۲] بر پایه تحلیل های سازه‌ای را بر اساس اطلاعات آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داد. آیین نامه لرزه‌ای (UBC-97) [۱۲] برای اولین بار چندین دستورالعمل تفصیلی برای کاربرد تحلیل تاریخچه زمانی غیرالاستیک با در نظر گرفتن نحوه انتخاب و مقیاس نمودن زمین‌لرزه‌های ورودی معرفی کرد. همچنین استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرالاستیک به صورت جامع در دستورالعمل NEHRP^۴ در قالب FEMA-273 ارائه گردید. این دستورالعمل نه تنها به استفاده از تحلیل غیرخطی (استاتیکی و دینامیکی) برای ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها پرداخته بود، بلکه راهنمایی‌های کاملی نیز در مورد مدلسازی غیرالاستیک و ارزیابی نتایج بر حسب مقادیر توصیه شده برای تغییر شکل‌های غیرالاستیک نیز در آن ارائه شده بود.

از جمله نواقص و معایب موجود در روش های دینامیکی، عدم ارائه رفتار خطی و پیوسته سازه تحت اثر زمین لرزه برای بررسی از حالت الاستیک تا نقطه تسلیم و در نهایت شکست و ناپایداری سازه می‌باشد. با توجه به پیشرفت‌های اخیر مبنی بر حرکت از روش تحلیل استاتیکی خطی به سوی تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش اور)، روشی جدیدی طبق تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی بوجود آمد که در آن از بارگذاریهای مربوط به زمین‌لرزه‌های مقیاس شده استفاده شده بود. اصول این روش که تحلیل دینامیکی غیرخطی فزاینده یا IDA^۵ نامیده شده و برای اولین بار توسط برترو^۶ همکاران بیان گردید و به وسیله پژوهشگران دیگری نظیر کرنل^۷ و شوم^۷ و همچنین کرنل و وموستیکوس^۸ و بسیاری از محققان برجسته دیگر مورد بررسی قرار گرفت [۲۵].

^۱Loma Prieta

^۲Bluma

^۳Uniform Building Code

^۴National Earthquake Hazards Reduction Program

^۵Bertero

^۶Cornell

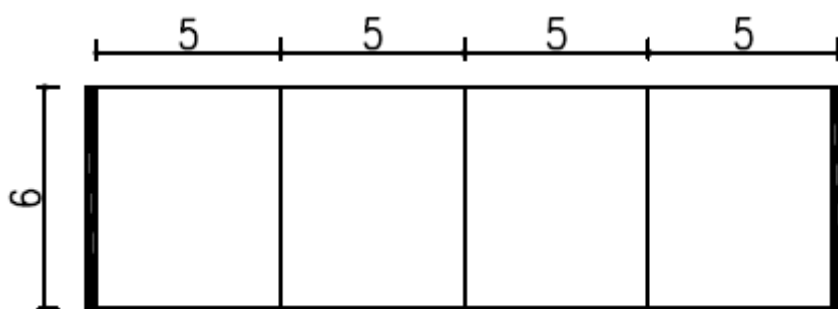
^۷Shome

۳. مواد و روش‌ها

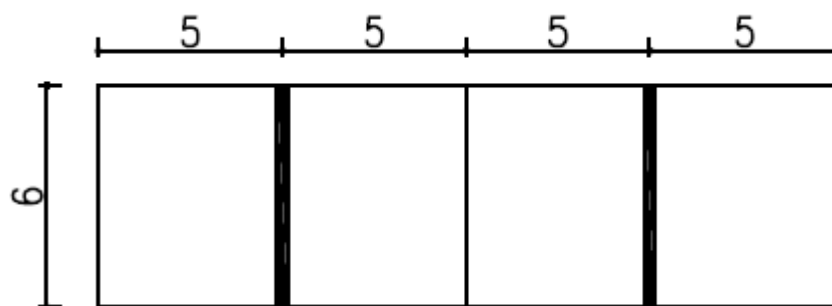
در این تحقیق جهت بررسی بیشتر تأثیر فرض صلبیت دیافراگم کف و اثر اندرکنش خاک و سازه بر ضریب رفتار نتایج آنالیز ۴۰ ساختمان متفاوت آورده شده و موارد مورد بحث با یکدیگر مقایسه شده اند. در مراجع ارائه شده عموماً تأخیر عوامل مختلف در مقدار خطای فرض صلبیت درون صفحه ای بررسی شده است.

همچنین علاوه بر بررسی عوامل موثر و رسم نمودار مقادیر خطای نیروی برشی اعضای باربر جانبی با فرض صلبیت درون صفحه ای و صلبیت کامل دیافراگم بر حسب ضخامتهای مختلف سقف مقدار $\frac{\Delta diaph}{\Delta story}$ ساختمان نیز بر حسب همان ضخامتها رسم شده تا ملاک آئین نامه جهت تعیین میزان صلبیت دیافراگم نیز در نظر گرفته شود، در ضمن مقادیر نیروهای درون صفحه ای دیافراگم کف با فرض صلبیت و انعطاف پذیری دیافراگم با یکدیگر مقایسه شده اند کلیه ساختمان بتن آرمه و دیافراگم کف آنها دال دو طرفه می باشد.

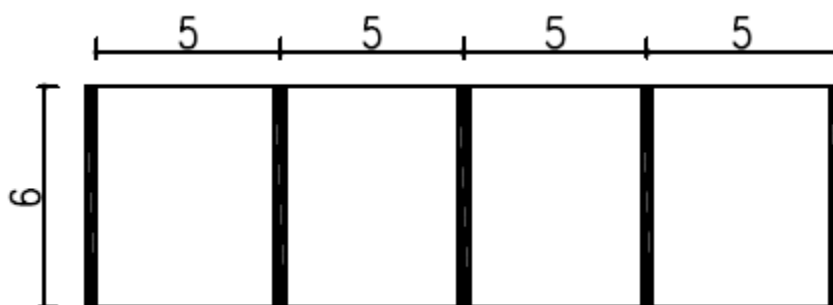
- ساختمان ۱، ساختمان یک طبقه قاب فولادی همراه با بادبند، پلان این ساختمان مطابق شکل ۳-۱۲ می باشد.
- ساختمان ۲، ساختمان سه طبقه ای قاب فولادی همراه با بادبند، پلان کلیه طبقات مطابق شکل ۳-۱۲ می باشد.
- ساختمان ۳، ساختمان شش طبقه قاب فولادی همراه با بادبند پلان کلیه طبقات مطابق شکل ۳-۱۲ می باشد.
- ساختمان ۴، ساختمان سه طبقه قاب فولادی همراه با بادبند با تغییر محل بادبند در ارتفاع پلان ساختمان طبقه اول مطابقه شکل ۳-۱۳ و پلان ساختمان در طبقات دوم و سوم مطابق شکل ۳-۱۲ می باشد.
- ساختمان ۵، ساختمان یک طبقه قاب فولادی همراه با بادبند پلان این ساختمان مطابق شکل ۳-۱۳ می باشد.
- ساختمان ۶، ساختمان قاب فولادی همراه با بادبند؛ پلان این ساختمان مطابق شکل ۳-۱۴ می باشد.
- ساختمان ۷، ساختمان ۸ طبقه قاب فولادی همراه با بادبند، پلان کلیه طبقات مطابق شکل ۳-۱۲ می باشد.
- ساختمان ۸، ساختمان یک طبقه با قاب خمشی تنها پلان ساختمان مطابق شکل ۳-۱۵ می باشد.
- ساختمان ۹ ساختمان دوازده طبقه قاب خمشی تنها، پلان کلیه طبقات مطابق شکل ۳-۱۶ می باشد.
- ساختمان ۱۰، ساختمان شش طبقه با تغییر ابعاد پلان در ارتفاع، پلان طبقات اول و دوم مطابق شکل ۲ و پلان طبقات سوم تا شش مطابق شکل ۷ می باشد.



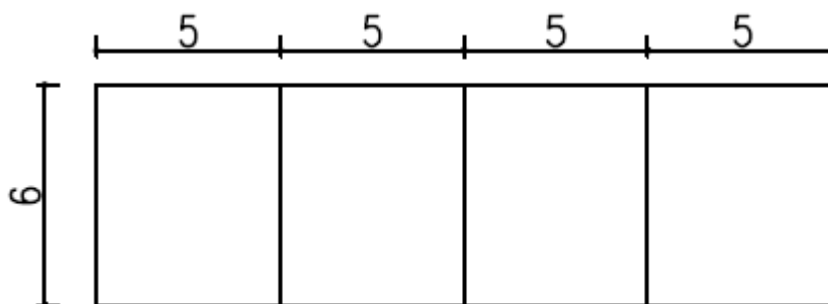
شکل (۲) پلان ساختمان با سیستم قاب فولادی همراه با بادبند در دو انتهای سازه در جهت Y و قاب خمشی در جهت X



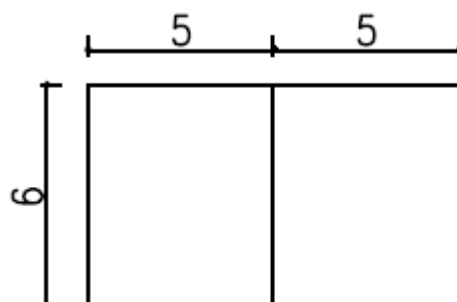
شکل (۳) پلان ساختمان با سیستم قاب فولادی همراه با بادبند در نزدیکی مرکز جرم سازه در جهت y و قاب خمشی در جهت x



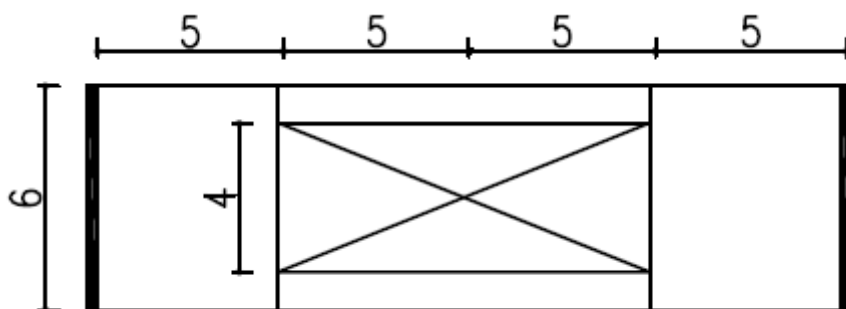
شکل (۴) پلان ساختمان با سیستم قاب فولادی همراه با بادبند در جهت y و قاب خمشی در جهت x



شکل (۵) پلان ساختمان با سیستم قاب خمشی در هر دو جهت



شکل (۶) پلان ساختمان با سیستم قاب خمشی در هر دو جهت با دو دهانه



شکل (۷) پلان ساختمان با سیستم قاب فولادی همراه با بادبند در دو انتهای سازه در جهت y و قاب خمشی در جهت x و دارای بازشو در کف پلان

جهت آنالیز ساختمان ها از نرم افزار ETABS استفاده شده است. تیرها و ستون ها با المان Frame و دیوارها برشی و دیافراگم کف به ترتیب با المانهای SLAB مدل شده اند. ساختمان ها با فرض رفتار خطی و دیافراگم کف آنها با سه فرض مختلف و ۶ ضخامت متفاوت (۸، ۱۰، ۱۲، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتیمتر) آنالیز شده اند. سه فرض مزبور عبارتند از:

(الف) مدل واقعی رفتار دیافراگم: در این حالت دیافراگم کف با المان های shell با ابعاد 1×1 m مدل شده به نحوی که هر گره در دیافراگم دارای شش درجه آزادی مستقل و سه درجه آزادی انتقالی و سه درجه آزادی دورانی می باشد.

در ساختمانهایی که با روش تحلیل دینامیک طیفی آنالیز شده اند، طبق پاسخ آئین نامه ۲۸۰۰ مربوط به زمین نوع I همراه با ضریب مقیاس مورد نظر ($\frac{AI}{R}$) شتاب لازم را به جرم سازه وارد کرده و در ساختمان هایی که بر مبنای روش تحلیل استاتیکی معادل آنالیز شده اند نیز مقدار نیروی وارد بر طبقه

$$(F_i = \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i} V, V = \frac{ABI}{R} \times W)$$

به صورت گسترده بر گره های مدل در دیافراگم کف توزیع شده است. (flexible)

(ب) فرض صلبیت درون صفحه ای دیافراگم: در این حالت دیافراگم کف با المان های membrane مدل شده؛ در این فرض برای هر نقطه دلخواه در درون دیافراگم سه درجه آزادی مستقل (یک درجه آزادی انتقالی در جهت عمود بر دیافراگم و دو درجه آزادی دورانی خارج از صفحه دیافراگم) در نظر گرفته می شود. سه درجه آزادی دیگر گره ها به گره مرجع وابسته شده این سه درجه آزادی وابسته عبارتند از دو درجه آزادی انتقالی در درون صفحه دیافراگم و یک درجه آزادی دورانی در جهت عمود بر صفحه دیافراگم. با این فرض در حالت تحلیل استاتیکی معادل نیروی طبقه به گره مرجع اعمال می شود (rigid in plane)

(ج) فرض صلبیت کامل دیافراگم: در این حالت دیافراگم کف با المان های shell با ابعاد 1×1 m با تعریف دیافراگم از نوع Rigid مدل شده؛ در این فرض سختی دیافراگم هم در درون صفحه خود دیافراگم و هم در خارج از صفحه آن بسیار زیاد در نظر گرفته شده و بنا به همین فرض دیافراگم در تمامی جهات کاملاً صلب عمل میکند. در این وضعیت نیروهای جانبی مستقل از موقعیت اعضای باربر جانبی به نسبت سختی اعضاء توزیع می شود. (rigid)

همچنین در تمامی مدلهای با فرض رفتار پی صلب (تکیه گاه گیردار) و رفتار انعطاف پذیر پی (تکیه گاه فنر) مدل شده است. در مدل واقعی رفتار دیافراگم در کلیه ضخامت ها مقدار $\frac{\Delta_{diaph}}{\Delta_{story}}$ محاسبه گردیده و جهت مقایسه با آئین نامه ۲۸۰۰ نمودار آن رسم گردیده است. در ساختمان های ذکر شده مقدار نیروی برشی در اعضای باربر جانبی با فرض اعمال شده برای دیافراگم کف به دست آمده و درصد خطای موجود بر مبنای فرض صلبیت کامل یا صلبیت درون صفحه ای با حالت واقعی سازه محاسبه گردیده و این مقادیر خطا بر حسب ضخامت سقف ترسیم شده است:

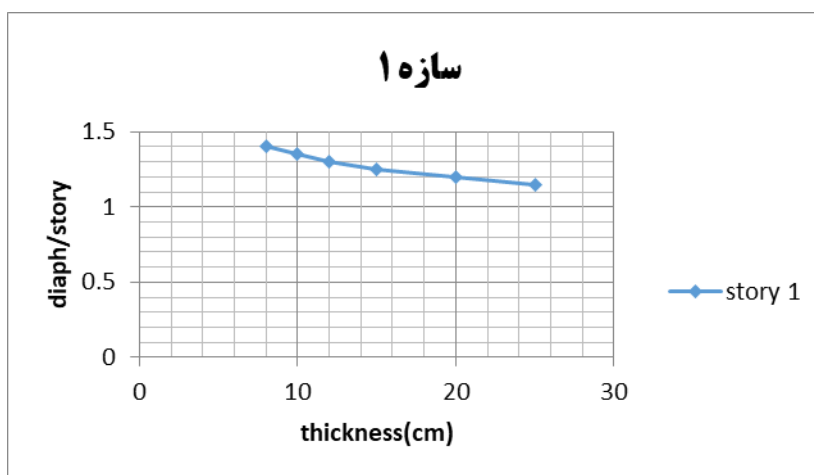
$$error\% (flexible \& rigid \text{ in plan }) = \frac{V_{flexible} - V_{rigid \text{ in plan}}}{V_{flexible}} \quad ۱$$

$$error\% (flexible \& rigid) = \frac{V_{flexible} - V_{rigid}}{V_{flexible}} \quad ۲$$

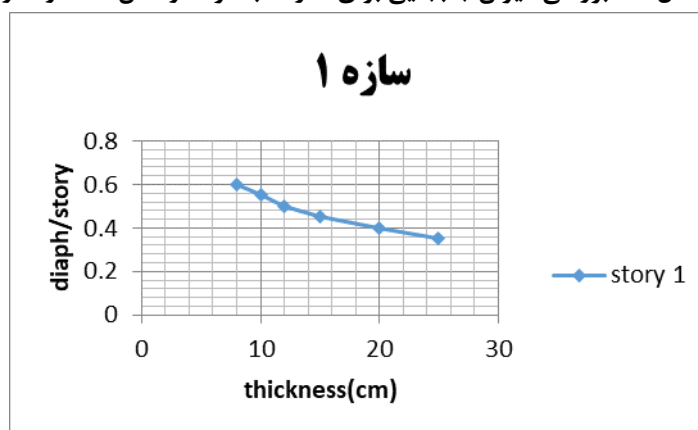
۴. نتیجه گیری و بحث

بررسی اثر صلبیت کف

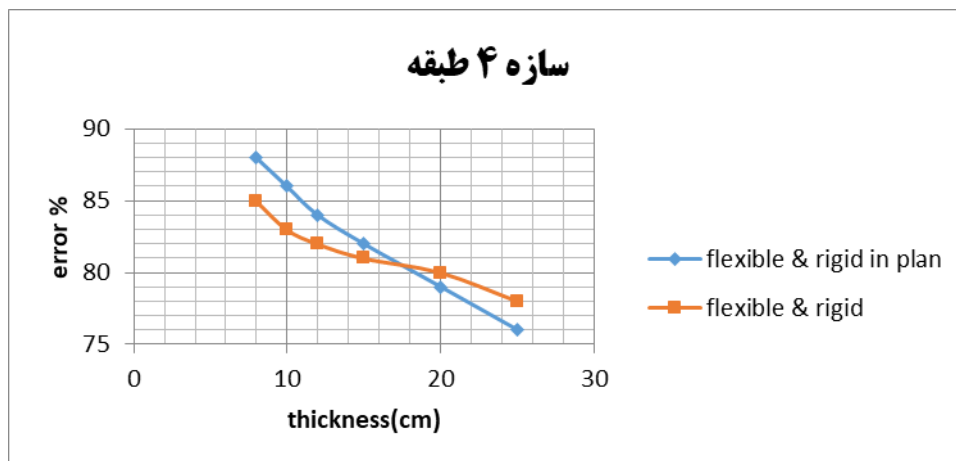
جهت بررسی میزان اثر صلبیت کف بر روی اثر اندرکنش خاک و سازه، ضریبی به عنوان درصد خطا تعریف شده است، این درصد در فصل سوم توضیح داده شده است. دلیل اختلاف عددی درصد خطای قاب خمشی و مهاربندی، میزان درصد جذب بیشتر نیروی برشی توسط مهاربندها می باشد. این مطلب در شکل ۸ نشان داده شده است. مطلب دیگر راجع به علامت درصد خطای محاسبه شده توسط روابط ۱ و ۲ می باشد. درصد خطای بادبند منفی و قاب خمشی مثبت می باشد. بدین معنا که با فرض صلبیت درون صفحه ای یا صلبیت کامل سقف در جهت اطمینان و قاب های خمشی در خلاف جهت اطمینان طراحی خواهند شد.



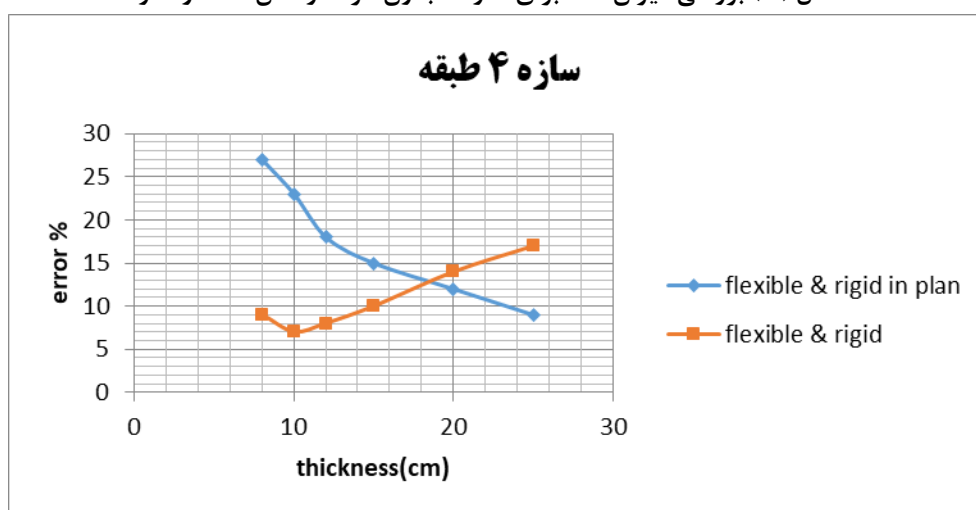
شکل (۸) بررسی میزان جابجایی برای سازه ۱ با اثر اندرکنش خاک و سازه



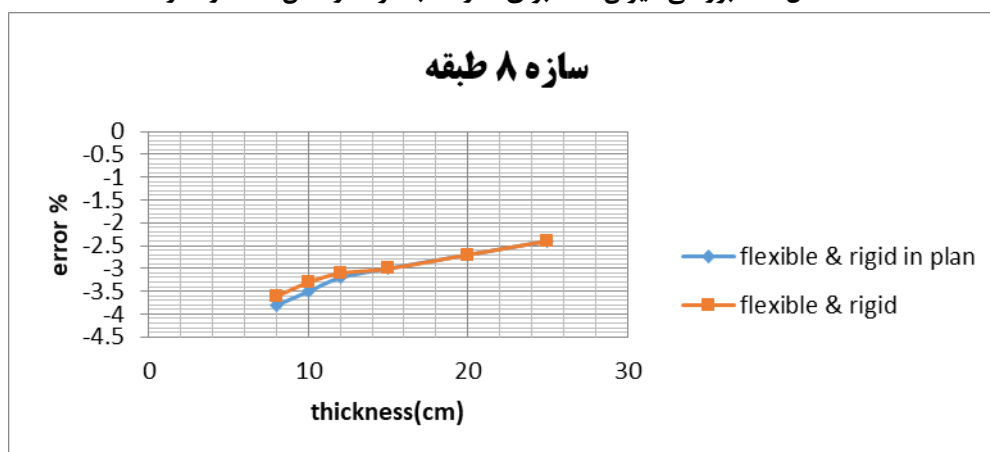
شکل (۹) بررسی میزان جابجایی برای سازه ۱ بدون اثر اندرکنش خاک و سازه



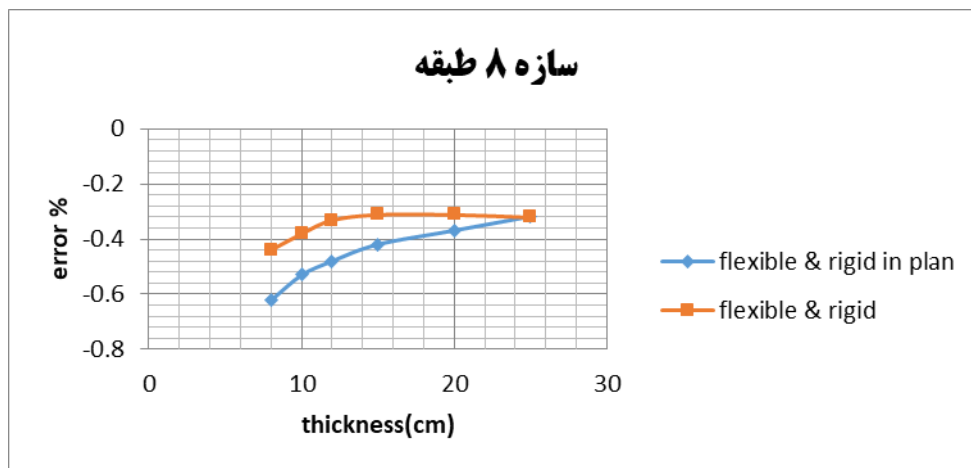
شکل (۱۰) بررسی میزان خطا برای سازه ۴ بدون اثر اندرکنش خاک و سازه



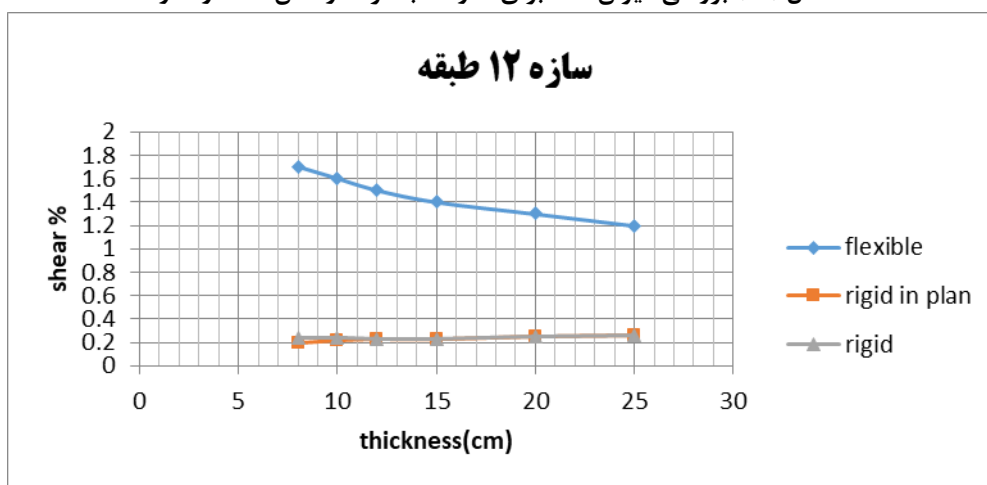
شکل (۱۱) بررسی میزان خطا برای سازه ۴ با اثر اندرکنش خاک و سازه



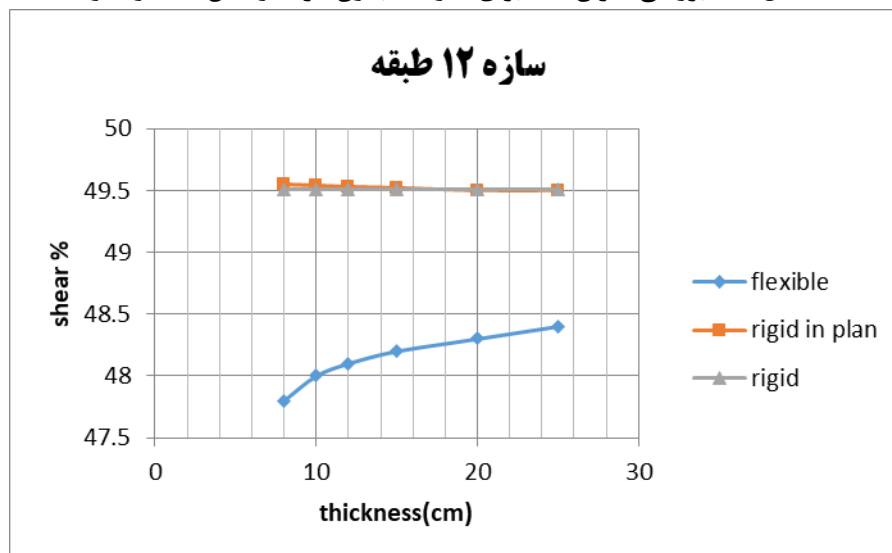
شکل (۱۲) بررسی میزان خطا برای سازه ۸ بدون اثر اندرکنش خاک و سازه



شکل (۱۳) بررسی میزان خطا برای سازه ۸ با اثر اندرکنش خاک و سازه



شکل (۱۴) بررسی میزان خطا برای سازه ۱۲ بدون اثر اندرکنش خاک و سازه



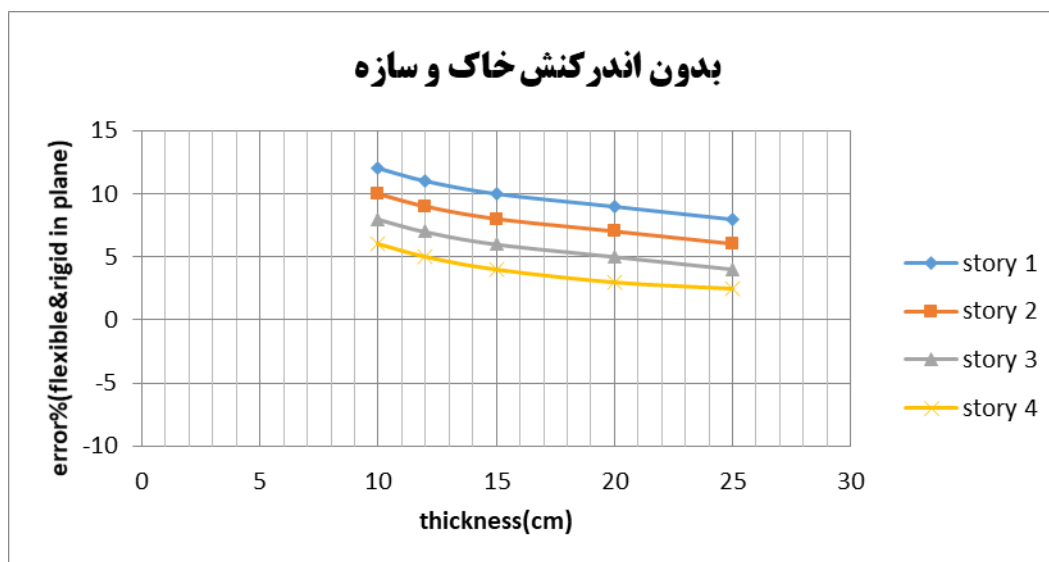
شکل (۱۵) بررسی میزان خطا برای سازه ۱۲ با اثر اندرکنش خاک و سازه

تأثیر افزایش تعداد طبقات

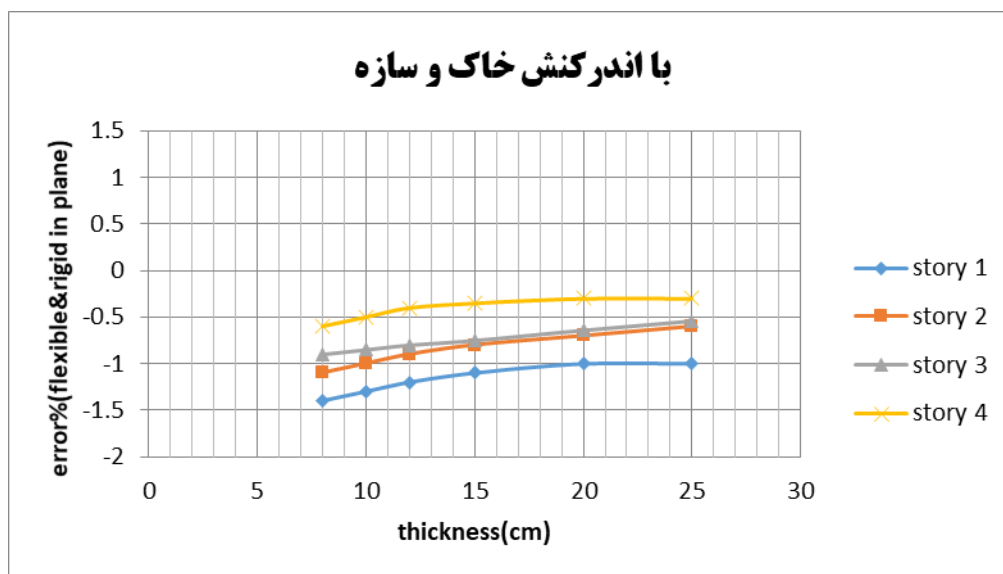
کاهش خطای فرض صلبیت درون صفحه ای در سهم برش اعضای باربر جانبی با افزایش تعداد طبقات را می توان با مقایسه نتایج حاصل از آنالیز ساختمان های (یک طبقه)، (چهار طبقه)، (۸ طبقه) و (۱۲ طبقه) مشاهده کرد. با افزایش تعداد طبقات به دلیل کاهش نسبت سختی جانبی به سختی دیافراگم میزان خطا کاهش یافته ست. به عنوان مثال در ساختمان ۴ طبقه قاب فولادی همراه با بادبند (ساختمان ۲) از طبقه اول به طرف طبقه سوم درصد خطای فرض صلبیت درون صفحه ای سیر نزولی داشته و این مطلب با ملاک آئین نامه $\left(\frac{\Delta_{diaph}}{\Delta_{story}}\right)$ نیز سازگاری دارد. اشکال ۱۶ تا ۱۷ اما با توجه به نتایج حاصل از فرض صلبیت کامل دیافراگم می توان چنین بیان کرد که این فرض جهت آنالیز سازه مناسب نیست. در حالیکه در پیوست ششم آئین نامه مربوط به دیافراگم به جای فرض صلبیت درون صفحه ای جهت ساده سازی مدل سقف از فرض صلبیت کامل دیافراگم استفاده کرده است.

در فرض صلبیت کامل، نیروهای برشی به نسبت سختی اعضای باربر جانبی توزیع می شوند در حالیکه با فرض صلبیت درون صفحه ای این مسئله کم رنگ تر شده و نتایج حاصل از آنالیز با فرض صلبیت درون صفحه ای حالت بینابینی از فرض صلبیت کامل و تحلیل واقعی دیافراگم سقف دارد و جهت ساده سازی دیافراگم سقف در مواردی که میزان خطای حاصله زیاد نباشد، بهتر است از فرض صلبیت درون صفحه ای به جای صلبیت کامل دیافراگم استفاده شود.

مطلب دیگر در مورد رفتار ساختمانهای قاب فولادی بادبندی این است که در این ساختمان ها به دلیل رفتار برشی قاب و رفتار محوری بادبند، با افزایش ارتفاع ساختمان قاب سخت تر از بادبند خواهد شد و در این حالت در طبقات بالا خلاف طبقات پایین دیوار در خلاف جهت اطمینان و قاب در جهت اطمینان طراحی می شود (مقدار درصد خطای مهاربند در طبقه بالا مثبت و مقدار خطا در قاب خمشی منفی می باشد). به هر حال در ساختمان های منظم حتی با سیستم قاب فولادی همراه با مهاربند میزان خطا قابل توجه نخواهد بود.



شکل (۱۶) بررسی میزان خطا برای سازه های تعداد طبقات مختلف بدون اثر اندرکنش خاک و سازه



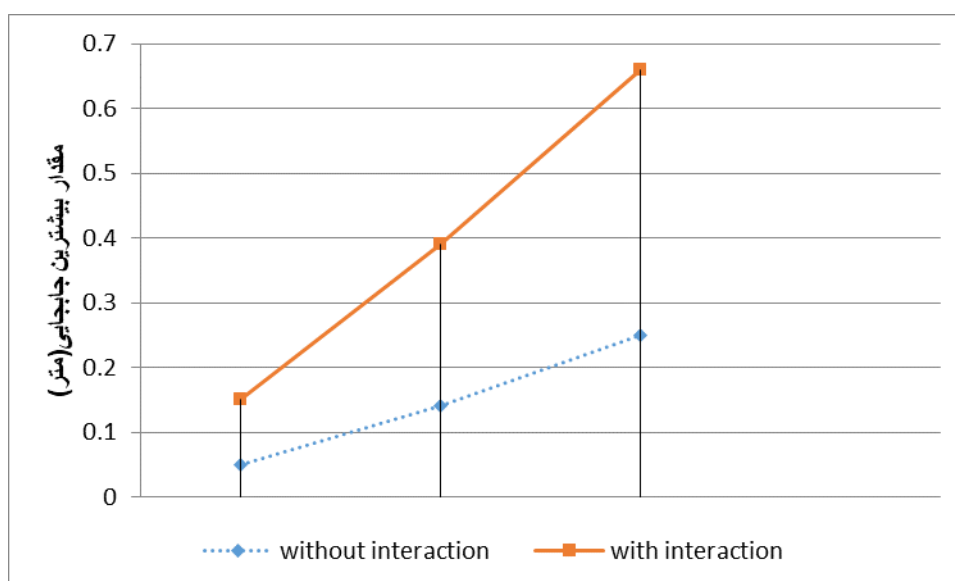
شکل (۱۷) بررسی میزان خطا برای سازه های با تعداد طبقات مختلف با اثر اندرکنش خاک و سازه

بررسی نقطه عملکرد

بررسی نقطه عملکرد با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در سازه های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه انجام شده است که در نمودار شکل (۳-۲۷) ارایه شده است و جدول (۷) نیز مقادیر را نشان می دهد.

جدول ۱: نقطه ی عملکرد سازه ها با اندرکنش و بدون اندرکنش خاک و سازه

سازه	ATC-40 (cm)		FEMA 356 (cm)	
	با اندرکش	بدون اندرکش	با اندرکش	بدون اندرکش
۴ طبقه	۶/۷	۳/۳۵	۷/۷	۳/۴
۸ طبقه	۲۴/۱۳	۱۳/۱۲/۷	۲۷/۲۸	۱۵/۳۵
۱۲ طبقه	۷۱/۷۶	۳۴/۳۶	۸۳/۲۴	۳۸/۳۶



شکل (۱۸) نمودار بیشترین جابجایی در مدل ۱ تا ۳ در هر دو حالت بدون اندرکنش و با اندرکنش

۵. نتایج

جهت بررسی میزان اثر صلبیت کف بر روی اثر اندرکنش خاک و سازه، ضریبی به عنوان درصد خطا تعریف شده است، این درصد در فصل سوم توضیح داده شده است. دلیل اختلاف عددی درصد خطای قاب خمشی و مهاربندی، میزان درصد جذب بیشتر نیروی برشی توسط مهاربندها می باشد.

اما با توجه به نتایج حاصل از فرض صلبیت کامل دیافراگم می توان چنین بیان کرد که این فرض جهت آنالیز سازه مناسب نیست. در حالیکه در پیوست ششم آئین نامه مربوط به دیافراگم به جای فرض صلبیت درون صفحه ای جهت ساده سازی مدل سقف از فرض صلبیت کامل دیافراگم استفاده کرده است.

در فرض صلبیت کامل، نیروهای برشی به نسبت سختی اعضای باربر جانبی توزیع می شوند در حالیکه با فرض صلبیت درون صفحه ای این مسئله کمرنگ تر شده و نتایج حاصل از آنالیز با فرض صلبیت درون صفحه ای حالت بینابینی از فرض صلبیت کامل و تحلیل واقعی دیافراگم سقف دارد و جهت ساده سازی دیافراگم سقف در مواردی که میزان خطای حاصله زیاد نباشد، بهتر است از فرض صلبیت درون صفحه ای به جای صلبیت کامل دیافراگم استفاده شود.

مطلب دیگر در مورد رفتار ساختمانهای قاب فولادی بادبندی این است که در این ساختمان ها به دلیل رفتار برشی قاب و رفتار محوری بادبند، با افزایش ارتفاع ساختمان قاب سخت تر از بادبند خواهد شد و در این حالت در طبقات بالا خلاف طبقات پایین دیوار در خلاف جهت اطمینان و قاب در جهت اطمینان طراحی می شود (مقدار درصد خطای مهاربند در طبقه بالا مثبت و مقدار خطا در قاب خمشی منفی می باشد). به هر حال در ساختمان های منظم حتی با سیستم قاب فولادی همراه با مهاربند میزان خطا قابل توجه نخواهد بود.

۶. منابع

۱- آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله-استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۴.

- ۲- Tremblay, R., (2004). "Testing and Design of Buckling Restrained Braces For Canadian Application."
- ۳- Galvez, P., (2004). "Investigation of Factors Affecting Web Fractures in Shear Links."
- ۴- Chao, S.H. and Goel, S.C., 2005. Performance-based criteria desing of EBF using target drift and yield mechanism as performance ceiteria . Ann Arbir, 1001, pp.48109-2125.
- ۵- "Eccentrically braced frame links with reduced web sections."
- ۶- FEMA P 695., (2009). "Quantification of Building Seismic Performance Factors"
- ۷- Berman, J.W., Okazaki T. and Hauksdottir, H.O., 2009. Reduced link sections for improving the ductility of eccentrically braced frame link-to-column connections. Journal of structural engineering, 136(5), pp.543-553
- ۸- Mansour, N., Christopoulos, C., Tremblay, R., (2011). "Experimental Validation of Replaceable Shear Links for Eccentrically Braced Steel Frames."

- ۹- Ohsaki, M., Nakajima, T., (2012) "Optimal Stiffeners Spacing for Intermediate Link in Eccentrically Braced Frame to Increase Energy Dissipation."
- ۱۰- Musmar, M.A., 2012 . , Effect of link on eccentrically braced frames. Journal of Engineering Sciences, Assiut University
- ۱۱- Najafi, L.H. and Tehranizadeh, M., 2017 . Equation for achieving efficient length of link-beams in eccentrically braced frames and its reliability validation . Journal of Constructional Steel Research, 130, pp.53-64
- ۱۲- GSA, "Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects", Washington DC, US, 2003.
- ۱۳- Kim, J., Kim, T., "Assessment of Progressive Collapse-Resisting Capacity of Steel Moment Frames", Journal of Constructional Steel Research, 2009, 65, 169-179.
- ۱۴- Khandelwal, K., El-Tawil, S., "Pushdown Resistance as a Measure of Robustness in Progressive Collapse Analysis", Journal of Engineering Structures, 2011, 33, 2653-2661.