



نکات آیین‌نامه‌ای پیرامون طبقه نرم

نعمت حسنی^۱، افروز کتیرا^۲

- ۱- دانشیار دانشکده آب و محیط زیست پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور- دانشگاه شهید بهشتی
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- زلزله، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور- دانشگاه شهید بهشتی

hassani@pwut.ac.ir
afroozkatira@yahoo.com

چکیده:

وجود طبقه نرم گرچه بلحاظ توزیع و استفاده از فضاهای طبقه مناسب می‌باشد، ولی از دیدگاه لرزه‌ای، آسیب‌پذیری ساختمان و میزان خسارت وارده را بسیار افزایش می‌دهد بگونه‌ای که شکست طبقه نرم را به رایج‌ترین نوع خرابی در زلزله تبدیل می‌کند. پس از بررسی‌های انجام شده این نتیجه حاصل شد که الگوهای بدست آمده از خرابی‌های زلزله‌های مخرب جهان سبب شده تا محققان متوجه بروز پدیده طبقه نرم در برخی از سازه‌ها شوند و تلاش کنند نواقص آیین‌نامه‌ها را در این زمینه رفع و سازه‌ها را در برابر این پدیده مقاوم‌سازی کنند. در این مقاله پس از بررسی سیر تکامل آیین‌نامه‌های کشورهای مختلف در مورد طبقه نرم، به تبیین مواردی مثل تجزیه و تحلیل نیروهای وارد به طبقه نرم، بندهای آیین‌نامه برای جلوگیری از ایجاد طبقه نرم، بندهای آیین‌نامه در مورد عوامل تشدید خرابی و در نهایت علت و مکانیسم خرابی طبقه نرم پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: زلزله، ساختمان، طبقه نرم

۱. مقدمه

ایران به دلیل قرارگیری بر روی کمربند زلزله آلپ-همالیا جزء کشورهای لرزه‌خیز محسوب می‌شود و هر چند سال یکبار زلزله‌ای ویرانگر در نقاط مختلف کشور رخ می‌دهد. در بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی ۱۳۶۵۵ زلزله با بزرگای بیش از ۴ ریشتر در ایران رخ داده که از این تعداد ۱۱۷ زلزله با بزرگای بیشتر از ۶ ریشتر بوده است. ممکن است گاهی این تصور پیش آید که زلزله قاتل جان انسان‌هاست. اما واقعیت چیز دیگری است: این زلزله نیست که جان انسان‌ها را می‌گیرد، بلکه سازه‌های ضعیف مسبب آن هستند. بنابراین باید رفتار سازه‌ها را در زلزله بیشتر شناخت و آیین‌نامه‌ها و روش‌های اجرایی را بهبود بخشید. حال با توجه به این که زلزله‌ها همواره در هنگام وقوع، به دنبال نقاط ضعف ساختمان هستند و اثر آنها بر روی این قسمت‌ها می‌تواند مشکل ساز شود، باید این نقاط ضعیف که معمولاً در اثر تغییرات سریع در سختی، مقاومت و یا شکل‌پذیری به وجود می‌آیند به طور کامل شناسایی شوند. ملاحظات و نگرش خوش بینانه معماری اغلب منجر به ساختن ساختمان‌هایی می‌شود که در آنها طبقه همکف و یا سایر طبقه‌ها به لحاظ سختی، تفاوت فراوانی با طبقه‌های دیگر سازه داشته و سازه را در زمان وقوع زلزله در برابر پدیده نرم، آسیب‌پذیر می‌کند. منظور از طبقه نرم، کاهش قابل ملاحظه سختی در یک طبقه نسبت به سایر طبقات است. کاهش سختی در سازه‌ها یکی از اساسی‌ترین مسائل نامنظمی در ارتفاع سازه است که رایج‌ترین نوع آن در ساختمان‌های موجود، وجود طبقه همکف باز به جهت تامین ورودی ساختمان و پارکینگ، تعبیه پنجره‌های بزرگ، درب‌های اصلی فضاهای تجاری و یا تفاوت ارتفاع در این طبقه به علت کاربری تجاری می‌باشد که سبب می‌شود این طبقه در مقایسه با سایر طبقات فاقد یکنواختی، نظم و تکرار دیوارها باشد. ساختمان‌های دارای

^۱ - دانشیار دانشکده آب و محیط زیست پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور- دانشگاه شهید بهشتی
^۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- زلزله، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور- دانشگاه شهید بهشتی



طبقه همکف باز از عملکرد ضعیفی در هنگام و بعد از وقوع زلزله‌ها برخوردار هستند و توجه به تأثیر آن بر رفتار سازه، توسط آیین‌نامه‌های مختلف به مهندسین تأکید شده است. این پیکره‌بندی گرچه به لحاظ توزیع و استفاده فضاهای طبقه مناسب می‌باشد، ولی از دیدگاه لرزه‌ای، آسیب‌پذیری ساختمان را در برابر پدیده‌ی طبقه نرم، بسیار بالا می‌برد. به هر حال اجتناب از ملاحظات معماری غیر ممکن است بنابراین در اکثر سازه‌ها بروز پدیده طبقه نرم حتمی است. لذا حفظ ایمنی جانی ساکنان ساختمان و تجهیزات درون آن (مثلاً بیمارستان‌ها) امری ضروری خواهد بود. [۱]

۲. سیر تکامل آیین‌نامه‌های کشورهای مختلف در مورد طبقه نرم

قبل از دهه‌ی ۱۹۶۰ در کشورهای توسعه یافته مانند آمریکا و ژاپن و اواخر دهه‌ی ۱۹۷۰ در بسیاری از کشورهای جهان مانند چین و ترکیه، سازه‌ها بدون جزئیات و تقویت کننده‌های کافی در مقابل زلزله طراحی می‌شدند. از آنجایی که زلزله خطر قریب الوقوع بود، مطالعه و تحقیق آغاز شد و آیین‌نامه‌هایی برای مقاوم سازی و بازسازی لرزه‌ای سازه‌ها مانند ASCE-SEI 41 و دستورالعمل‌های انجمن مهندسی زلزله نیوزلند^۳ در سراسر جهان منتشر شد. این آیین‌نامه‌ها نیازمند به روز شدن بودند، بنابراین در سال‌های اخیر محققان علم مهندسی زلزله پس از هر زلزله‌ی ویرانگر در نقاط مختلف جهان به بررسی نقاط ضعف سازه‌ها و آیین‌نامه‌ها پرداخته‌اند، تا مشکلات را برطرف نموده و خسارات مالی و جانی وارد به جامعه را کاهش دهند. یکی از این نقاط ضعف وجود طبقه نرم در سازه بوده که در میزان خرابی زلزله‌های مخرب کلیه نقاط جهان سهم عمده‌ای داشته است. به طور کلی سابقه وجود طبقه نرم در کلیه آیین‌نامه‌ها در حدود ۲۰ تا ۳۰ سال است. در ادامه سیر تکامل آیین‌نامه‌های کشورهای مختلف در مورد طبقه نرم بررسی شده است.

آمریکا: در سال ۱۹۷۹ یک بازنگری در آیین‌نامه‌ی آمریکا برای تقویت ساختمان‌های دارای طبقه نرم رخ داد و آیین‌نامه ایمنی و سلامت کد ۱۹۱۶^۴ نوشته شد. در زلزله ۱۹۹۴ نورتریج^۵ طبقه نرم عامل ایجاد خرابی در بیش از دو-سوم از ۴۶۰۰۰ ساختمان تخریب شده، بود. براساس آمار اعلام شده ۶۰ نفر در اثر ریزش این ساختمان‌ها فوت و صدها نفر زخمی شدند. ساخت این ساختمان‌ها در دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ یعنی قبل از تدوین آیین‌نامه در آمریکا بسیار رایج بود. با تجارب بدست آمده از این زلزله و تدوین آیین‌نامه جدید، در زلزله ۲۰۰۳ سانفرانسیسکو تنها ۲ نفر در اثر پدیده طبقه نرم فوت کردند. [۲]

ژاپن: در کشور ژاپن پس از زلزله ۱۹۲۳ کانتو^۶، دولت به فکر تدوین یک دستورالعمل برای طراحی ساختمان افتاد که در همین راستا در ماه می سال ۱۹۵۰ اولین قانون استاندارد ساختمان انتشار یافت. هدف از این دستورالعمل حفاظت از جان و مال و سلامت جامعه با ارائه حداقل استانداردهای مربوط به اسکلت ساختمان، تجهیزات، سایت و نحوه بهره‌برداری از ساختمان بود که در آن هیچ نامی از پدیده طبقه نرم وجود نداشت. اما از آنجایی که دولت نیازمند ضوابطی دقیق برای کنترل ساختمان‌های در حال ساخت از نظر اسکلت ساختمان، تجهیزات، سایت و نحوه بهره‌برداری بود، بنابراین آیین‌نامه طراحی ساختمان تدوین گشت. این آیین‌نامه شامل یک ضریب لرزه‌ای و یک روش طراحی دو مرحله‌ای بود. پس از زلزله مخرب میاگی-کن اکی^۷ در سال ۱۹۷۸ محققان متوجه نواقص آیین‌نامه شدند و سرانجام در سال ۱۹۸۱ در آیین‌نامه طراحی ساختمان تجدید نظر شد [۳]. پس از زلزله ۱۹۹۵ کوبه و انجام تحقیقات فراوان بر روی سازه‌ها، الگوهای خرابی سازه‌ها طی این زلزله مشخص شد. توجه به الگوهای خرابی در این زلزله برای محققان ژاپن بسیار حائز اهمیت بود زیرا تقریباً اکثر ساختمان‌ها با پیروی از آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای سال ۱۹۸۱ طراحی شده بودند و آنها به دنبال رفع نواقص آیین‌نامه بودند. در میان این الگوها، خرابی طبقه اول و طبقه میانی در ساختمان‌هایی که قبل از سال ۱۹۸۱ ساخته شده بودند، مشهود بود. اصلی‌ترین علت شکست در این سازه‌ها وجود طبقه نرم، گزارش شده است. در این زلزله در سازه‌های دارای طبقه همکف باز، که اصطلاحاً در آیین‌نامه ژاپن به آنها سازه روی پیلوت^۸ گفته می‌شود، احتمال انهدام طبقه همکف ۴ برابر بیشتر از سازه‌های بدون پیلوت برآورد شد. اکثر ساختمان‌هایی که در این زلزله فرو ریزش کردند، بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰ ساخته شده بودند و تنها ۵ درصد ساختمان‌های ساخته شده پس از سال ۱۹۸۱ دچار خرابی شدند. [۴]

³ New Zealand Society for Earthquake Engineering (NZSEE)'s guidelines

⁴ Health & Safety Code §§19160

⁵ Northridge

⁶ Kanto

⁷ Miyagi-ken Oki

⁸ Pilotis



تورکیه: زلزله ۱۹۳۹ ارزینکن^۹ یک نقطه عطف برای تصویب مفهوم طراحی و ساخت و ساز مقاوم در برابر زلزله بود. در این زلزله ۱۳۰۰۰۰ نفر جان باختند و حدود ۱۴۰۰۰۰ خانه تخریب شد. پس از این زلزله، اولین مجموعه از مقررات قانونی صریح و روشن برای طراحی مقاوم در برابر زلزله در سال ۱۹۴۰ توسط وزارت کار ترکیه انتشار یافت. در این دستورالعمل به طبقه نرم توجهی نشده بود. به دنبال آن نسخه دیگری از آیین نامه در سال ۱۹۴۲ به همراه نقشه مناطق لرزه خیز ترکیه انتشار یافت. پس از زلزله های متعدد در کشور ترکیه آیین نامه در سال های ۱۹۵۳، ۱۹۷۵، ۱۹۶۲، ۱۹۶۸، ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸ ویرایش و تجدید نظر شد [۵]. در زلزله کوجانلی^{۱۰} و دوزجه^{۱۱} و زلزله ۲۰۰۳ بینگول^{۱۲} اکثر خرابی ها ناشی از پدیده طبقه نرم به علت کمبود دیوارهای پرکننده و ایجاد فضای باز در خروجی های بزرگ طبقه همکف بود. در حال حاضر ساختمان ها در ترکیه با تبعیت از آیین نامه زلزله ترکیه^{۱۳} که در سال ۲۰۰۷ چاپ شده، ساخته می شوند که شامل چند بند جدید در مورد طبقه نرم است [6].

چین: اولین آیین نامه طراحی لرزه ای با نام "آیین نامه طراحی لرزه ای ساختمان های عمرانی و صنعتی TJ11-74" در سال ۱۹۷۴ تدوین و در سال ۱۹۷۸ نسخه جدید TJ11-78 چاپ شد. نسخه به روز رسانی شده با نام "آیین نامه طراحی لرزه ای GBJ11-89" ویرایش و در سال ۱۹۸۹ توسط مرکز تحقیقات ساختمان چین منتشر شد. در حال حاضر ساختمان ها در چین با تبعیت از آیین نامه GB50011-2001 که در سال ۲۰۰۱ چاپ شده، ساخته می شوند که شامل چند بند جدید در مورد طبقه نرم است مثلاً این که برای طبقه نرم باید افزایش بار طراحی به میزان ۱۵ درصد را در نظر گرفت [7].

هند: اولین آیین نامه طراحی ساختمان هند با نام IS1893 در سال ۱۹۷۰ به چاپ رسید. این آیین نامه در ابتدا تنها شامل یک بخش بود. با گذشت زمان در همین آیین نامه تجدید نظر، و ویرایش سوم در سال ۱۹۷۵ و ویرایش چهارم در سال ۱۹۸۴ چاپ شد [8]. در ویرایش چهارم به پدیده طبقه نرم توجه شده بود. پس از یک وقفه ۱۸ ساله و با توجه به تجارب محققان از زلزله های رخ داده در هند مخصوصاً زلزله بهوج^{۱۴} در سال ۲۰۰۲ چندین بخش جدید به آیین نامه اضافه و ویرایش پنجم آن منتشر گردید. در این ویرایش تعریف طبقه نرم تغییر کرده^{۱۵} و اصطلاح طبقه خیلی نرم نیز به آیین نامه اضافه شده است. در زلزله 2001 بهوج خسارات زیادی ایجاد و کلیه ساختمان های دارای طبقه نرم به طور کلی خراب شد. مثلاً در شهر احمدآباد حدود ۲۵۰۰۰ ساختمان ۵ طبقه و حدود ۱۵۰۰ ساختمان ۱۱ طبقه که دارای طبقه همکف باز بودند به طور کامل منهدم شدند، بنابراین محققان به این نتیجه رسیدند که این ساختمان ها در طول زلزله بسیار آسیب پذیر بوده و آیین نامه ی هند در طراحی آنها ضعیف عمل کرده است. در سال ۲۰۰۲ بخش جدیدی شامل مقررات طراحی ویژه ساختمان های دارای طبقه نرم و ضعیف به آیین نامه طراحی لرزه ای ساختمان هند اضافه شد که در آیین نامه نوشته شده، در طراحی، زمانی از این بخش استفاده می شود که اولاً ساختمان دارای یک طبقه نرم یا ضعیف باشد و ثانیاً طبقه نرم نیروی بیشتری در مقایسه با سایر طبقات تحمل کند [9].

ایران: اولین استاندارد طراحی ساختمان ایران پس از زلزله مخرب بوشن زهرا (۱۳۴۱) با نام "آیین نامه موقت حفاظت ساختمان ها در برابر زلزله" در سال ۱۳۴۳ منتشر گردید. به دنبال آن، در سال ۱۳۴۸ کمیته آیین نامه دفتر مطالعات و معیارهای ساختمانی تشکیل و جزوهای را تحت عنوان «آیین نامه ایمنی ساختمان ها در برابر زلزله» در شهریور ۱۳۴۶ در قالب نشریات سازمان برنامه و بودجه وقت منتشر کرد. این آیین نامه دو فصل داشت: فصل اول ساختمان های با مصالح بتایی و فصل دوم محاسبه ساختمان ها در برابر نیروی زلزله. بعد از مدتی فصل دوم این آیین نامه که مربوط به بارهای ناشی از زلزله بود به استاندارد ملی ایران شماره ۵۱۹ «حداقل بار وارده بر ساختمان ها» انتقال یافت و این آیین نامه ملاک محاسبه ساختمان ها در برابر زلزله قرار گرفت. در کلیه آیین نامه های ذکر شده هیچ اشاره ای به طبقه نرم نشده بود. در بهمن ۱۳۶۶، ویرایش اول آیین نامه ۲۸۰۰ چاپ گردید. در این آیین نامه نیز طبقه نرم جایگاهی نداشت اما در بند ۱-۲-۲ آورده شده که صلبیت جانبی در هر طبقه اولاً نسبت به صلبیت جانبی طبقه زیر خود بیش از ۳۰ درصد تقلیل نیابد و ثانیاً نسبت به صلبیت جانبی در سه طبقه زیرین خود بیش از ۵۰ درصد کاهش پیدا نکند. این بند نوعی کنترل برای جلوگیری از ایجاد طبقه نرم است اما همان طور که گفته شد نامی از طبقه نرم نیست. در ویرایش دوم آیین نامه ۲۸۰۰ که هفدهم آذر ۱۳۷۵ به چاپ رسید نیز توجهی به پدیده نرم نشده بود. در چاپ سوم آیین نامه ۲۸۰۰، که در تاریخ بیست و ششم تیرماه ۱۳۸۴ انتشار یافت در ابتدای آیین نامه در بخش تعاریف، طبقه نرم این گونه تعریف شد؛ طبقه نرم طبقه ای است که

⁹ Erzincan

¹⁰ Kocaeli

¹¹ Düzce

¹² Bingöl

¹³ Turkish Earthquake Code-2007

¹⁴ Bhuj

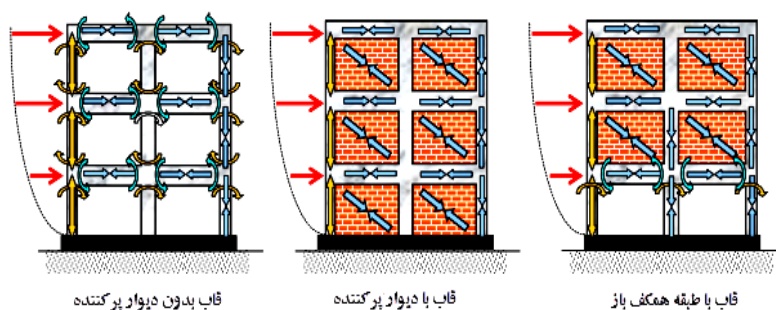
^{۱۵} طبقه نرم طبقه ای است که سختی جانبی آن کمتر از ۶۰ درصد سختی جانبی طبقه روی خود یا کمتر از ۷۰ درصد متوسط سختی ۳ طبقه روی خود باشد.

سختی جانبی آن کمتر از ۷۰ درصد سختی جانبی طبقه روی خود یا کمتر از ۸۰ درصد متوسط سختی ۳ طبقه روی خود باشد و در قسمت ۱۱-۲ بند (ب) از پدیده طبقه نرم به عنوان عامل بی‌نظمی در ارتفاع یاد شد. مطابق ویرایش چهارم آیین‌نامه ۲۸۰۰ که در تیر ماه ۱۳۹۱ منتشر شد، طبقه نرم طبقه‌ای است که سختی جانبی آن بین ۶۰-۷۰ درصد سختی جانبی طبقه روی خود یا بین ۷۰-۸۰ درصد متوسط سختی ۳ طبقه روی خود باشد. در همین ویرایش در قسمت تعاریف طبقه خیلی نرم نیز این‌گونه تعریف شد؛ طبقه خیلی نرم، طبقه‌ای است که سختی جانبی آن کمتر از ۶۰ درصد سختی جانبی طبقه روی خود یا کمتر از ۷۰ درصد متوسط سختی ۳ طبقه روی خود باشد. [۱۰] طبقه خیلی نرم اصطلاح و تعریف جدیدی است که در این ویرایش آورده شده و این‌گونه آیین‌نامه ایران در مورد طبقه نرم تکامل یافت.

۳. تجزیه و تحلیل نیروهای وارد به طبقه نرم

همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در اثر مولفه افقی نیروی زلزله، در قاب بدون دیوار آجری پرکننده در ستون‌ها و تیرها علاوه بر نیروی محوری، لنگر خمشی نیز ایجاد می‌گردد اما در قاب با دیوار آجری پرکننده فقط نیروی محوری و اندرکنش قاب و دیوار ایجاد شده و لنگر خمشی حذف گردیده است. علت حذف لنگر خمشی وجود دیوار آجری پرکننده است چون همانند دیوار برشی عمل کرده و از انحنای تیرها جلوگیری می‌کند. این قاب‌ها در بار جانبی ضعیف، به صورت سیستم یکپارچه مقاومت می‌کنند ولی با افزایش بار جانبی قاب پیرامونی در انتهای قطر کششی از میان‌قاب جدا شده و برعکس در انتهای قطر فشاری به میان‌قاب تکیه می‌کند. به عبارت دیگر به علت تأثیر میان‌قاب‌های بنایی، رفتار قاب از حالت عملکرد خمشی در قاب بدون میان‌قاب به رفتار خرابایی در قاب با میان‌قاب تبدیل می‌شود. به این ترتیب مکانیزم دستک فشاری شکل می‌گیرد. در این حالت جابجایی افقی ناشی از زلزله کمتر از قاب خالی بوده و اعضای قاب مجالی برای عملکرد خمشی نمی‌یابند بلکه عمده انرژی کشسان به صورت تغییر شکل محوری اعضای قاب و قید فشاری ذخیره می‌شود. [۲۸]

در قاب با طبقه همکف باز، لنگر خمشی فقط در ستون‌های طبقه همکف و تیرهای طبقه اول ایجاد شده و در سایر طبقات به علت وجود دیوار آجری پرکننده لنگر خمشی حذف و فقط نیروی محوری و اندرکنش قاب و دیوار دیده می‌شود، به عبارت دیگر رفتار قاب با طبقه همکف باز به صورت ترکیبی از رفتار قاب با دیوار پرکننده و قاب بدون دیوار پرکننده می‌باشد.



شکل ۲- مقایسه عکس‌العمل قاب‌های مختلف در برابر نیروی جانبی [۱۱]

۴. بندهای آیین‌نامه برای جلوگیری از ایجاد طبقه نرم

پس از طراحی سازه باید بند ۶-۷-۸-۱-۲ بند (ب) مبحث ششم مقررات ملی ساختمان کنترل شده تا از پدیده طبقه نرم جلوگیری شود. به وسیله تحلیل دینامیکی سازه، اثر سختی و مقاومت میان‌قاب‌ها و تغییر شکل‌های ارتجاعی در اعضا به ویژه در طبقه نرم مشخص می‌گردد. سپس با صرفه نظر کردن از اثر میان‌قاب‌ها در طبقات دیگر، ضوابط طراحی زیر را باید در نظر گرفت:



بند ۳-۱۰ ویرایش چهارم آیین نامه ۲۸۰۰ بیان می کند که اگر یکی از اعضای جانبی باربر، مانند دیوار برشی یا بادبندها تا روی شالوده ادامه پیدا نکند، ستون ها، تیرها، خراباها و دال هایی که این اعضا را تحمل می کنند باید دارای مقاومت طراحی لازم برای مقابله با حداکثر نیروی زلزله طبق ترکیب بارهای دارای ضریب اضافه مقاومت باشند که اعضای غیر ممتد در صورت ممتد بودن قادر به انتقال آنها می بودند. ترکیب بارهای مذکور به شرح زیر بوده و این ترکیبات اضافه بر ترکیباتی هستند که در طراحی سازه معمولی از آنها استفاده می شود. [۱۲]

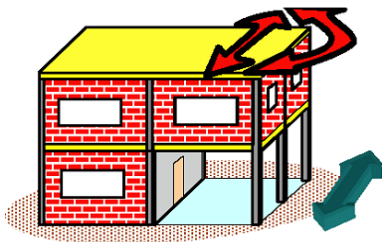
$$D + 0.8L \pm \Omega_0 E \quad \text{و} \quad 0.85D \pm \Omega_0 E$$

در مواردی که طبقه نرم در اثر حذف دیوار برشی، حذف بادبندها و حذف میان قاب ها (چون میان قاب های مصالح بنایی با قاب محیطی خود برخورد نموده و نیروهای اندرکنش ایجاد شده در بین آنها، باعث افزایش ظرفیت باربری و سختی جانبی سازه می گردد) ایجاد شده باشد، ترکیب بار ذکر شده در بالا نیز اعمال می گردد.

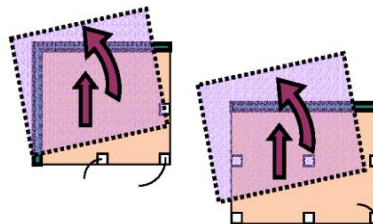
۵. بندهای آیین نامه در مورد عوامل تشدید خرابی

۱- اثر $P - \Delta$: مطابق ویرایش چهارم آیین نامه ۲۸۰۰، در کلیه سازه ها، بار محوری در عناصر قائم، تغییر مکان جانبی آنها، برش ها و لنگرهای خمشی در اعضا و نیز تغییر مکان های جانبی طبقات را افزایش می دهد. این افزایش که به اثر ثانویه یا اثر $P - \Delta$ معروف است، موجب خرابی بیشتری در سازه دارای طبقه نرم می شود. چون طبقه نرم تغییر مکان جانبی بیشتری را نسبت به سایر طبقات تحمل می کند.

۲- پیچش: اگر فاصله مرکز جرم و مرکز سختی در هر طبقه در هر امتداد، بیش از ۵ درصد بعد ساختمان در آن امتداد باشد، در طراحی باید پیچش نیز در نظر گرفته شود [۱۲]. چیدمان نامتقارن دیوار در پلان (شکل ۳ و ۴)، توزیع نامنظم دیوارهای برشی و بادبندها و یا حذف آنها در یک طبقه که مصادیق طبقه نرم هستند، نیز موجب پیچش و تشدید خرابی می گردد.



شکل ۴- ترکیب طبقه نرم و پیچش [۱۰]



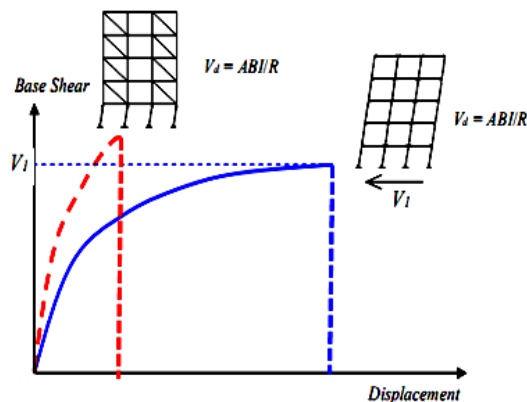
شکل ۳- چیدمان نامتقارن دیوار در پلان [۱۰]

۶. علت و مکانیسم خرابی

انرژی زلزله به صورت تکان زمین به پی سازه وارد می شود. با تکان پی، جابجایی به اندازه Δ در سازه ایجاد می شود که در اثر این جابجایی ابتدا ستون ها تغییر شکل داده و به اندازه Δ جابجا می شوند و سپس سقف ها دچار این جابجایی می شوند. اگر پس از جابجایی پی به اندازه Δ ، ستون های یک طبقه به علت کمبود سختی نتوانند سقف های بالا و پایین (در صورت قرار گیری در طبقات میانی) را در این جابجایی با خود همراه سازند و سختی طبقات دیگر آن قدر زیاد باشد که مانند یک بلوک صلب عمل کنند، آنگاه سازه ظرفیت جذب انرژی و جابجایی محدودتری داشته و توزیع نیروی جانبی زلزله در امتداد ارتفاع سازه به درستی انجام نمی شود. این وضعیت موجب می شود که بیشتر انرژی زلزله به طبقه ای که انعطاف پذیرتر بوده و جابجایی بیشتری را تحمل می کند، وارد گردد. این طبقه همان طبقه نرم است. وجود طبقه نرم موجب مخدوش شدن فرض حاکمیت مود اول ارتعاش در تحلیل استاتیکی معادل و افزایش بار وارده به این طبقه می شود. ستون های طبقه نرم برای استهلاک انرژی، انرژی زیادی را جذب و جابجایی بیشتری را نسبت به سایر طبقات تحمل می کند در نتیجه، دیگر طبقه نرم، سختی لازم برای تحمل برش تحمیلی ناشی از زلزله را نداشته و سرانجام در اثر جابجایی های رفت و برگشتی ناشی از زلزله، در ابتدا و انتهای

محل اتصال ستون‌های طبقه نرم به طبقه یا طبقه‌های سخت مفصل پلاستیک ایجاد شده و طبقه نرم یا دچار تغییر شکل ماندگار و یا در اثر نیروی جاذبه و اثر $P - \Delta$ دچار ریزش می‌شود که در بعضی مواقع ریزش طبقه و پیچش سازه منجر به ریزش کامل سازه و تشدید خرابی نیز می‌شود. [۱۳]

در شکل ۴ منحنی ظرفیت سازه در دو حالت شکست طبقه نرم و طراحی سازه معمولی نشان داده شده است. در حالت شکست طبقه نرم در اثر نیروی برشی پایه، افزایش در سختی و مقاومت رخ داده است ولی باید توجه کرد که مقدار این افزایش‌ها آنقدر نیست که منجر به کاهش آسیب‌پذیری در سازه با طبقه نرم شود. همچنین در شکست طبقه نرم سطح زیر منحنی که بیانگر میزان جذب انرژی است، شدیداً (حدود ۲ تا ۳ برابر) کاهش پیدا می‌کند. [۱۴]



شکل ۴- منحنی ظرفیت سازه در دو حالت شکست طبقه نرم و طراحی طبقه نرم. [۱۴]

۷. نتیجه‌گیری

بطور کلی محققان علم مهندسی زلزله در حدود ۳۰-۲۰ سال است که به وجود پدیده طبقه نرم پی بردند و بر اثر تجارب به دست آمده در زلزله‌های مختلف مثل نورتریج ۱۹۹۴، کوبه ۱۹۹۵، هند ۲۰۰۱ و ترکیه ۲۰۰۳، توانستند ضوابط آیین‌نامه‌ای مربوط به آن را تکمیل کنند. برای هماهنگی استانداردهای ایران و استانداردهای جهانی، از آیین‌نامه معتبر جهان مانند UBC و IBC استفاده شده است. بنابراین تکامل آیین‌نامه ایران پس از آیین‌نامه‌های معتبر جهان صورت گرفته است. مطابق توصیه‌های آیین‌نامه‌ای و مفاهیم طراحی لرزه‌ای باید حتی‌الامکان از پدیده طبقه نرم چه در طبقه همکف و چه در سایر طبقات خوداری کرد اما در صورت ایجاد این پدیده در یک طبقه، باید آن طبقه مقاوم سازی گردد تا میزان آسیب‌پذیری سازه در برابر زلزله کاهش یابد.

۸. منابع

- ۱- حسنی، ن. و همکاران، ۱۳۸۲، زلزله در آلبوم تجربه، مرکز مطالعات بحران‌های طبیعی در صنعت، تهران
- 2- Association of Bay area Government, 2008, *Soft-Story Housing Improvement Plan for the City of Oakland*, San Francisco
- 3- Ramdane, K. E. et. al., 2004, Nonlinear Numerical Analyses to Improve the Seismic Design Method for Soft First Story RC Building, Thirteenth World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, 2224
- 4- Kitagawa, Y. and Hiraish, H., 2004, Overview of the 1995 Hygo-Ken Nabu Earthquake and Proposals for Earthquake Mitigation Measures, *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3(Special Issue)
- 5- Soyluk, A. and Harmankaya, Z. Y., 2012, The History of Development in Turkish Seismic Design Codes, *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, Vol: 12, No: 01



6- Ilki, A. and Celep, Z., 2012, Earthquakes, Existing Buildings and Seismic Design Codes in Turkey, *Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol: 37, No. 2

7- Wang, Y., 2001, *New Code for Seismic Design of Buildings in China*, Institute of Earthquake Engineering, China Academy of Building Research, China

8- K Jain, S., 2002, *Review of Indian Seismic Code, IS 1893 (Part 1)*, Indian Institute of Technology, India

9- K Jain, S., and Murty, C. V. R, 2002, *Proposed Draft Provisions and Commentary on Indian Seismic Code, IS 1893 (Part 1)*, Indian Institute of Technology, India

۱۰- Murty, C.V.R., (2005), IITK- BMTPC Earthquake Tips – Learning Earthquake Design and Construction, National Information Center of Earthquake Engineering, IIT Kanpur, India, September.

۱۱- Murty, C.V.R., et. al., 2012, *Some Concepts in Earthquake Behaviour of Buildings*, Gujarat State Disaster Management Authority, P. 268

۱۲- مرکز تحقیقات مسکن و ساختمان، ۱۳۹۱، آیین نامه طراحی ساختمان ها در مقابل زلزله استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم، تهران.

۱۳- طاحونی، ش.، شبانکاره، س.م.، ۱۳۸۷، بررسی طبقه همکف باز در ساختمانهای میانبر با مصالح بنایی، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران

۱۴- تابش پور، م.، ۱۳۸۸، دست نامه ۲۰ مهندسی زلزله الزامات دیوار پرکننده آجری در آیین نامه ۲۸۰۰، انتشارات فدک ایستیس