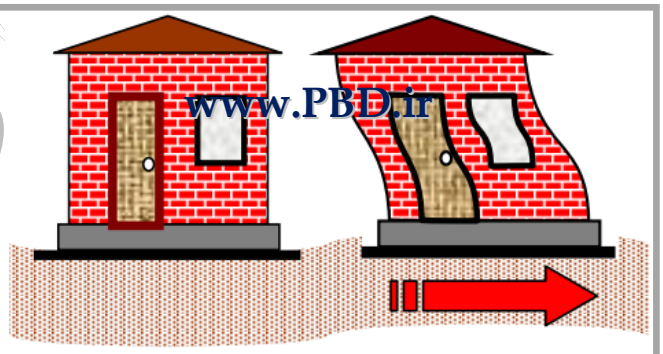
۵-زلزله بر روی سازه‌ها چه اثراتی دارد؟

نیروی اینرسی در سازه‌ها:

به سبب وقوع زمین لرزه، ساختمان‌ها در محل فونداسیون خود تحریک شتاب‌دار زمین را تجربه خواهند کرد. مطابق با قانون اول نیوتن با اینکه فونداسیون ساختمان به همراه زمین حرکت می‌کند ولی طبقات بالایی ساختمان تمایل به ماندن در وضعیت اولیه خود دارند، لیکن تا زمانی که دیوارها و ستون‌ها متصل به زمین می‌باشند طبقات بالایی را به همراه خودشان می‌کشند. این مورد شبیه به حالتی است که شما در اتوبوس ایستاده‌اید و اتوبوس شروع به حرکت می‌کند در این شرایط پاهای شما به همراه اتوبوس حرکت کرده ولی بخش بالایی بدن شما تمایل به ماندن در شرایط اولیه داشته و قصد دارد شما را به سمت عقب واژگون کند. این تمایل برای ماندن در شرایط اولیه با لفظ ***اینرسی*** شناخته می‌شود. تا زمانی که ستون‌ها و دیوارهای ساختمان عملکرد انعطاف‌پذیری دارند حرکت طبقات بالایی و بام متفاوت از حرکت فونداسیون ساختمان خواهد بود (شکل ۱).



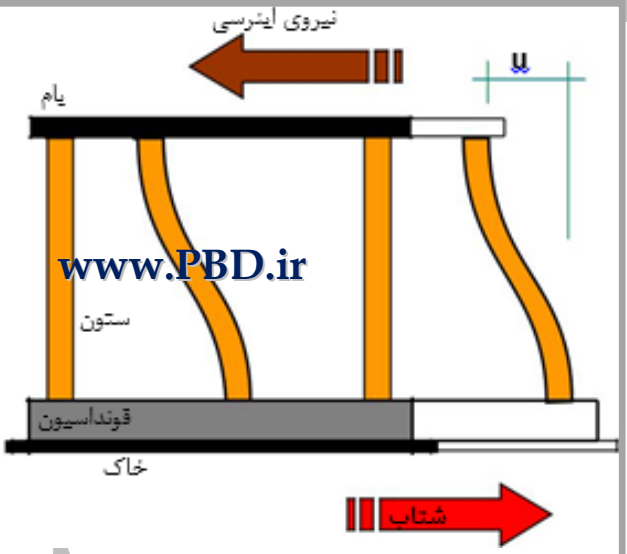
شکل ۱: اثرات اینرسی در ساختمان، زمانی که فونداسیون دچار تحریک می‌شود

مطابق با شکل ۲ ساختمانی را در نظر بگیرید که سقف آن از طریق ستون‌ها به زمین متصل می‌باشد به مثال اتوبوس برگردیم.... به هنگام حرکت ناگهانی اتوبوس شما به عقب پرت خواهید شد به مانند حالتی که شخصی به بخش بالایی بدن شما نیرویی وارد کند. مشابه همین حالت در زمان تحریک ناگهانی فونداسیون، ساختمان به عقب پرت شده و در تراز بام نیروی اینرسی ایجاد می‌شود. لذا اگر بام دارای جرم M و شتاب a باشد مطابق با قانون دوم نیوتن مقدار نیروی اینرسی برابر با M.a بوده و جهت آن خلاف جهت شتاب وارده خواهد بود. واضح است که با افزایش جرم مقدار نیروی اینرسی نیز افزایش خواهد یافت. بنابراین تحمل زلزله برای ساختمان‌های سبک‌تر به مراتب راحتتر و بدون آسیب و خسارت خواهد بود.

اثرات تغییرشکل جانبی ناشی از زلزله برروی سازه‌ها

نیروی اینرسی ایجاد شده در تراز بام برای رسیدن به فونداسیون از ستون‌ها عبور می‌کند. این نیروی ایجاد شده در ستون‌ها را می‌توان از طرق دیگری نیز درک نمود. در طی یک زمین‌لرزه ستون‌ها مابین ابتدا و انتهای خود دچار تغییرشکل نسبی خواهند شد. در شکل ۲ این تغییرشکل نسبی مابین بام و فونداسیون با U نشان داده شده است. تحت اثر این تغییرشکل‌های نسبی، ستون‌ها تمایل برگشت به حالت ایستاده و قائم اولیه خود را دارند بنابراین ستون‌ها در برابر تغییرشکل‌های نسبی مقاومت نشان می‌دهند. در موقعیت ایستاده و قائم به دلیل عدم وجود تغییرشکل نسبی مابین ابتدا و انتها، ستون‌ها متحمل نیروی زلزله نخواهندبود.

بنابراین در نتیجه ایجاد u، ستون‌ها بالاجبار خم شده و متحمل نیروهای ناشی از این تغییرشکل نسبی خواهند شد. مقدار نیروی ایجاد شده در ستون‌ها وابسته به مقدار u خواهد بود. مشخصا ستون‌های با سختی بیشتر (ابعاد بزرگتر) نیروی بیشتر خواهند داشت. به همین دلیل این نیروهای داخلی را نیروهای ناشی از سختی یا نیروهای فنری می‌نامند (نیروهای مقاوم در برابر تغییرمکان). که مقدار این نیرو برابر با حاصل ضرب سختی ستون در جابجایی نسبی مابین گره ابتدا و انتهای آن می‌باشد.



شکل ۲: نیروی اینرسی و تغییرشکل‌های نسبی ایجاد شده مابین گره ابتدا و انتهایی ستون‌ها

ارتعاش افقی و قائم ناشی از زلزله

به سبب زلزله، زمین در هر سه راستای x، y و z دچار ارتعاش شده و متحمل حرکات رفت و برگشتی در جهات مثبت و منفی هر

کدام از راستا خواهد شد (شکل ۳). در طراحی سازه‌ها بایستی مولفه‌های زلزله هر سه راستا لحاظ شود. همه سازه‌ها در مرحله اول برای بارهای ثقلی طرح می‌شوند (بارهایی شامل بارهای مرده، زنده، برف و تاسیسات موجود) بارهای ثقلی از حاصلضرب جرم‌های مذکور در شتاب ثقل حاصل می‌شوند. در این میان شتاب قائم ناشی از زلزله بسته به جهت ارتعاش قائم ممکن است با شتاب ثقل هم‌جهت شده، به آن اضافه گردد و یا از آن کم شود. به دلیل ضرائب اطمینان‌های موجود در طراحی برای بارهای ثقلی، معمولا اکثر سازه‌ها مقاومت کافی در برابر ارتعاشات قائم را دارا می‌باشند.

شکل ۳: جهات اصلی در یک ساختمان

از ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ سازه‌هایی که در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد می‌باشند بایستی کل سازه در برابر ارتعاش قائم زلزله طرح شوند. به همین دلیل برای لحاظ کردن اثرات رفت و برگشتی زلزله قائم، یکبار حالت جمع اثرات با شتاب ثقل در نظر گرفته شده و بار دیگر حالت تفاضلی آن محاسبه می‌شود. در زیر ترکیب بارهای شماره ۱ و ۲ هر دو ترکیب‌های زلزله‌دار می‌باشد و زلزله هر کدام شامل زلزله افقی و قائم بوده که بایستی اثرات هر کدام تفکیک گردند.

$$1)1.2DL+1.0\,\mathrm{LL}+0.2SL\pm E$$
$$2)0.9DL\pm E$$

که در آن‌ها E به صورت زیر می‌باشد:

$$E=\pm\rho Q_E\pm E_v$$

$$Q_E=Horizontal\ \ Erthquake=\frac{ABI}{R}W$$

$$W=1.0DL+1.0PL+0.2LL+0.2\mathrm{SL}+1.0Mass$$

$$E_v=Vertical\ \ Earhquake=0.6A\times I\times DL$$

با جایگذاری موارد بالا در ترکیب بارهای ۱ و ۲ داریم:

$$(1.2+0.6AI)DL+1.0\,\mathrm{LL}+0.2SL\pm\rho Q_E$$
$$(0.9-0.6AI)DL\pm\rho Q_E$$

با فرض کاربری مسکونی و پهنه خطر نسبی خیلی زیاد خواهیم داشت:

$$1)1.41DL+0.5\,\mathrm{LL}+0.2SL\pm\rho Q_E$$
$$2)0.69DL\pm\rho Q_E$$

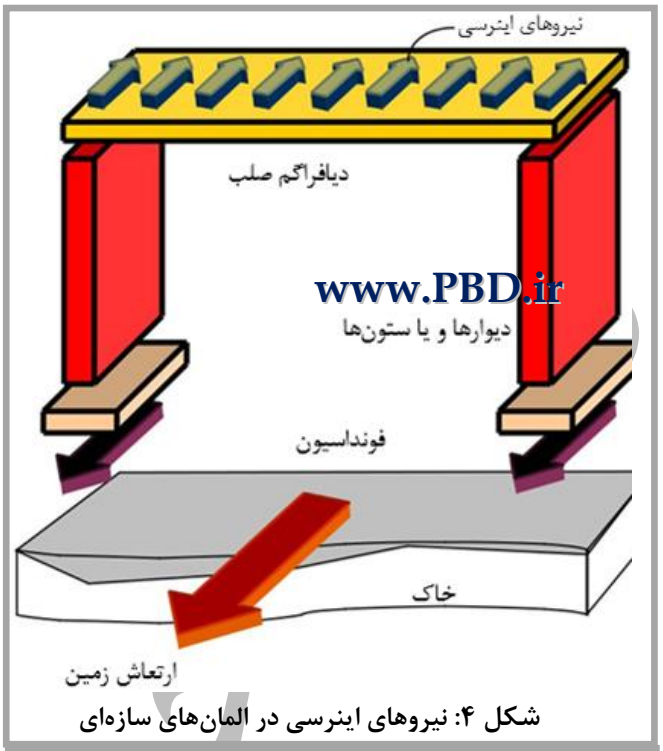
بدین ترتیب کل اجزای سازه‌ای برای ارتعاش قائم طراحی خواهند شد. البته در بند ت از ضابطه نیروی قائم ناشی از زلزله در ویرایش چهارم ۲۸۰۰ به این نکته اشاره شده است که" بالکن‌ها و پیش‌آمدگی‌هایی که به صورت طره ساخته می‌شوند" هم بایستی به صورت جداگانه برای زلزله قائم طراحی گردند که نیازی به آن نیست چون از طریق ترکیب‌بارهای بالایی همه المان‌های سازه‌ای برای زلزله قائم پوشش داده می‌شوند (*ASCE7-10* نیز چنین ضابطه‌ای ندارد).

با توجه به ترکیب‌بارهای ارائه شده به دلیل مقدار قابل توجه نیروهای ناشی از زلزله، سازه‌ها علاوه بر اثرات ثقلی بایستی برای اثرات زلزله نیز طراحی شده و در نهایت توان اتلاف انرژی و شکل‌پذیری سازه برای سطح زلزله مورد نظر کنترل گردد.

جریان نیروهای اینرسی تا فونداسیون

به دلیل تمرکز بیشترین جرم در محل تراز طبقات، در هنگام ارتعاش افقی زمین، نیروهای افقی اینرسی در محل تراز طبقات ایجاد شده و به وسیله دیافراگم صلب به المان‌های مقاوم باربر جانبی نظیر دیوارهای برشی، مهاربندها و ستون‌ها منتقل می‌شوند و نهایت از طریق فونداسیون به سمت خاک هدایت خواهند شد (شکل ۴). بنابراین هر المانی که در این مسیر باربری لرزه‌ای از دیافراگم کف تا به فونداسیون قرار گیرد بایستی حداقل مقاومت لازم برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه را داشته باشد. از میان همه این المان‌های باربر برای نیروی اینرسی، دیوارها و ستون‌ها بحرانی‌ترین المان‌ها می‌باشند چون انهدام هر یک از این المان‌ها در نهایت باعث فروریزش کل سیستم خواهد شد. این در حالی است که در طراحی‌های قدیمی و سنتی تمرکز اصلی روی سیستم سقف و تیرها بوده و دیوارها و ستون‌ها از اهمیت کمتری برخوردار بودند. دیوارها غالبا کم ضخامت بوده و در بیشتر موارد از مصالح ترد بنایی تشکیل می‌شدند. دیوارهای بنایی در جهت عمود بر صفحه خود قابلیت باربری زلزله‌های افقی را نداشته و در روند باربری زلزله از این جهت دچار گسیختگی می‌شوند. شکست دیوارهای بنایی در اغلب زلزله‌ها اتفاق می‌افتد (شکل ۵*a*). به صورت مشابه، طراحی ضعیف ستون‌های بتن‌آرمه نیز می‌تواند فاجعه بار باشد. در شکل ۵ *b* نمونه از شکست ستون‌های طبقه اول، که باعث فروریزش کل ساختمان در اثر زلزله بوج سال ۲۰۰۱ شده است‌رانشان‌می‌دهد.

ملاحظه می‌شود که علاوه بر اینکه از ظرفیت بخش بالایی سازه استفاده نشده است بلکه کل سازه نیز دچار فروریزش و انهدام گشته است.



شکل ۴: نیروهای اینرسی در المان‌های سازه‌ای

(a)فروریزش بخشی از دیوار بنایی سنگی در زلزله ۱۹۹۱ اوتارکاشی (هندوستان)

(b)گسیختگی ستون‌های بتن‌آرمه و فروریزش ساختمان در زلزله بوج ۲۰۰۱ (هندوستان)

شکل ۵: اهمیت طراحی دیوارها و ستون‌ها در برابر زلزله افقی

منابع:

Chopra,A.K., (1980), *Dynamics of Structures - A Primer*, EERI Monograph, Earthquake Engineering Research Institute, USA.

www.bmtpc.org

www.nicee.org

ترجمه و تالیف:

جواد قدرتی

کارشناس ارشد زلزله از دانشگاه صنعتی شریف

پل‌های ارتباطی با نویسنده:

WebSite: www.PBD.ir
Mob: 09303091405
Telegram: https://t.me/PBDEng/
Instagram: https://www.instagram.com/PBD_ir/
Email: J.yengejeh@yahoo.com

کانال تلگرام طراح حرفه‌ای ساختمان
https://t.me/PBD_ir

در موضوعات زیر به جامعه مهندسی کشور ارائه خدمت می‌کند:

۱- نکات مهم سازه‌ای که اغلب مهندسین در رابطه با مفاهیم آنها اطلاعات ناکافی و یا بعضا اطلاعات اشتباهی دارند.
۲- نکات مهمی که بر خلاف استانداردهای بین‌المللی در آئین‌نامه‌های داخلی فعلی پوشش داده نشده است.
۳- نکات مهم و مفاهیم اساسی سازه‌ای که برای مدل‌سازی بندهای آئین‌نامه در نرم‌افزار ضروری است.
۴- نکات مهمی که نرم‌افزارهای طراحی قابلیت انجام آن را نداشته و بایستی دستی کنترل شوند.
۵- نکات مهم طراحی که برای عملیاتی شدن و اجرایی شدن طرح بایستی در نظر گرفته شود.
۶- نکات مهمی که اغلب در آئین‌نامه و استانداردها گنگ و نامعلوم می‌باشد.

مهندسین و اساتید عزیز منتظر انتقادات، نظرات و پیشنهاداتتان هستیم.
نکات تکمیلی را از سایت طراح حرفه‌ای ساختمان پیگیری کنید:

www.PBD.ir

طراح حرفه‌ای ساختمان