

زمین لرزه و اتلاف انرژی

در این پست من قصد دارم با ساده‌ترین کلمات به توضیح اتفاقاتی که برای یک ساختمان حین زمین لرزه می‌افتد، بپردازم.

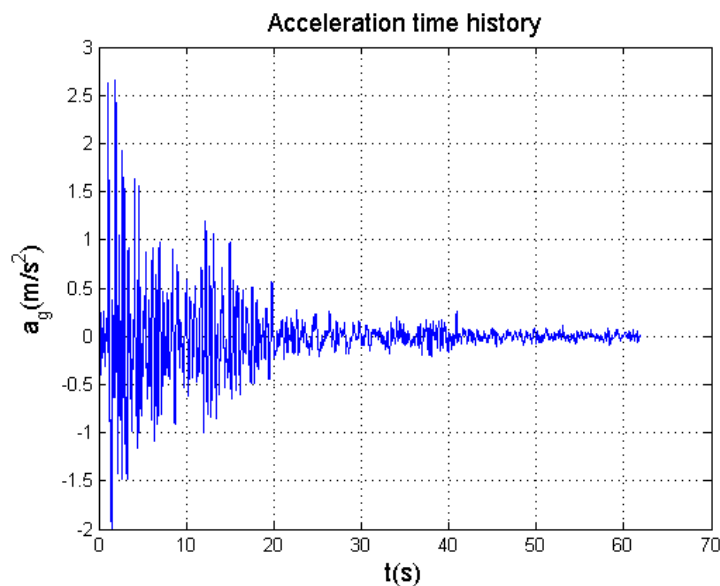
فرض کنید که در داخل یک ماشین در حال حرکت هستید که راننده آن من هستم. من یک ترمز ناگهانی می‌گیرم. به طور قطع شما تکان‌های شدیدی را تجربه خواهید کرد و احتمالاً من را مورد لعنت قرار می‌دهید. این تکان شدید را می‌توان به نحوی کاهش سرعت نیز دانست. دلیل این است که بدن شما در طول ۳ ثانیه، سرعت را از ۱۰۰ فوت بر ثانیه به صفر می‌رساند. این حالت معادل شتاب گرانشی وارده بر یک راستای افقی است که نیروی اینرسی نام دارد. در وضعیت حرکت بدن شما تغییر ایجاد شده است.

تا زمان اعمال یک نیروی خارجی برای تغییر وضعیت؛ یک جسم بی حرکت، بدون حرکت و یک جسم متحرک، همچنان متحرک باقی می‌ماند.

نیروی که بدن متحمل می‌شود برابر است با:

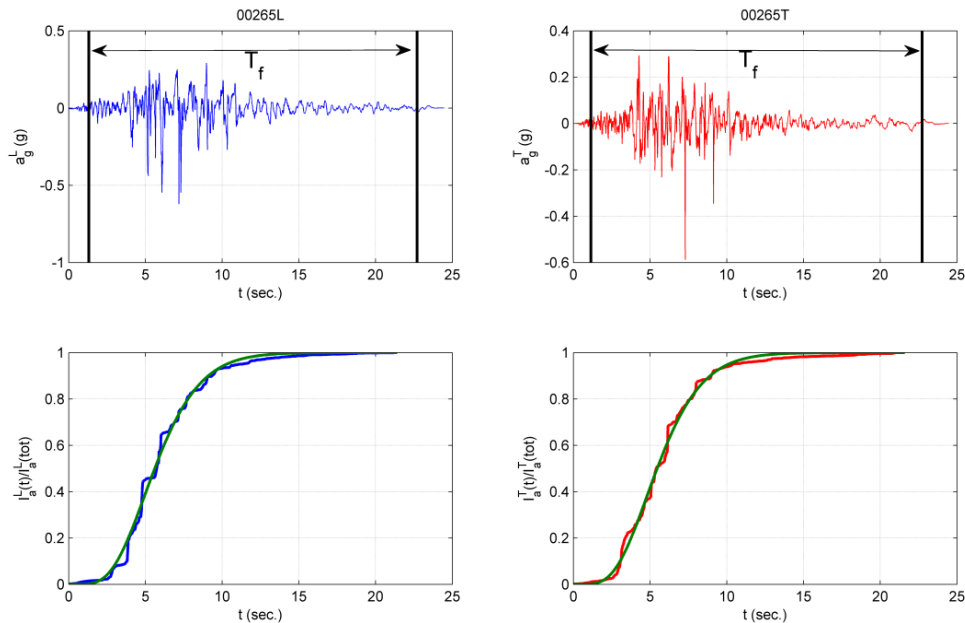
$$\text{نیرو} = \text{جرم} \times \text{شتاب}$$

هنگام زمین لرزه، تکان‌های زمین به فونداسیون ساختمان منتقل می‌شود. اجازه دهید نگاهی بر تاریخچه شتاب- زمان داشته باشیم (رکوردی که نشان دهنده شتاب زمین در مقابل عامل زمان است).



می‌توانید ببینید که زمین چگونه تکان می‌خورد. این تکان‌ها ساختمان را وادار می‌کند که همگام با خود نوسان داشته باشد؛ بنابراین اگر در حین یک زمین لرزه شما در زیرزمین باشید، تکان‌های این چنینی را تجربه خواهید کرد و حتی ممکن است به هر سویی پرتاب شوید. شتاب زمین از طریق انتقال انرژی به ساختمان سبب تحریک آن می‌شود.

این انرژی با گذشت زمان و تداوم زمین لرزه افزایش می‌یابد؛ اما در منطقه‌ای که این تحریکات قوی باشد، انرژی به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. نمودار انرژی لرزه‌ای چیزی مشابه آنچه در زیر نشان داده شده، می‌باشد:



دو نمودار پایینی در شکل بالا نشان دهنده شدت زمین لرزه (شدت آریاس: یکی از پارامترهای مهم حرکت قوی زمین است که نقش مهمی در تخمین میزان انرژی دریافتی و در نتیجه تخمین مقدار پایداری شیب‌ها بر اثر زلزله دارد) و قسمتی با شیب تند هستند که بیانگر تکان‌های شدید و قوی می‌باشند. حال اگر ساختمانی که شما طراحی کرده‌اید نتواند از پس انرژی لرزه‌ای که به آن وارد می‌شود، برآید؛ فرو خواهد ریخت. می‌دانیم که طراحی یک ساختمان به نحوی که هیچ انرژی به آن منتقل نشود امکان ندارد اما می‌توانیم ساختمانی را طراحی کنیم که انرژی پس از تلف شدن به ساختمان منتقل شود. سؤال اساسی این است که چگونه انرژی وارده بر ساختمان را کاهش دهیم.

قبل از بحث درباره اتلاف انرژی اجازه دهید در مورد اینکه چگونه یک نیرو را می‌توانیم به‌عنوان انرژی جذب شده در یک سیستم فرض کنیم، صحبت کنیم. هر زمانی که یک نیرو به یک شیء وارد شود، نیرو سبب تغییر خصوصیات آن خواهد شد. این بدان معناست که شیء کرنش‌های مختلفی را تجربه می‌کند. حاصل ضرب این نیرو در مقدار تغییر شکل را انرژی کرنشی می‌نامند. به همین ترتیب اگر ساختمان، انرژی را بین هر دو نوسان مستهلک کند، به آن انرژی مستهلک شده گویند؛ بنابراین هنگام وقوع زمین لرزه، انرژی لرزه‌ای به سیستم ساختمانی منتقل می‌شود و به شکل تغییر شکل‌های الاستیک، تغییر شکل‌های غیر الاستیک و یا مستهلک شدن، تلف می‌شود.

انرژی لرزه‌ای = انرژی غیر الاستیک + انرژی کرنشی + میرایی مودال + میرایی رایلی + میراگرهای ویسکوز اضافه شده

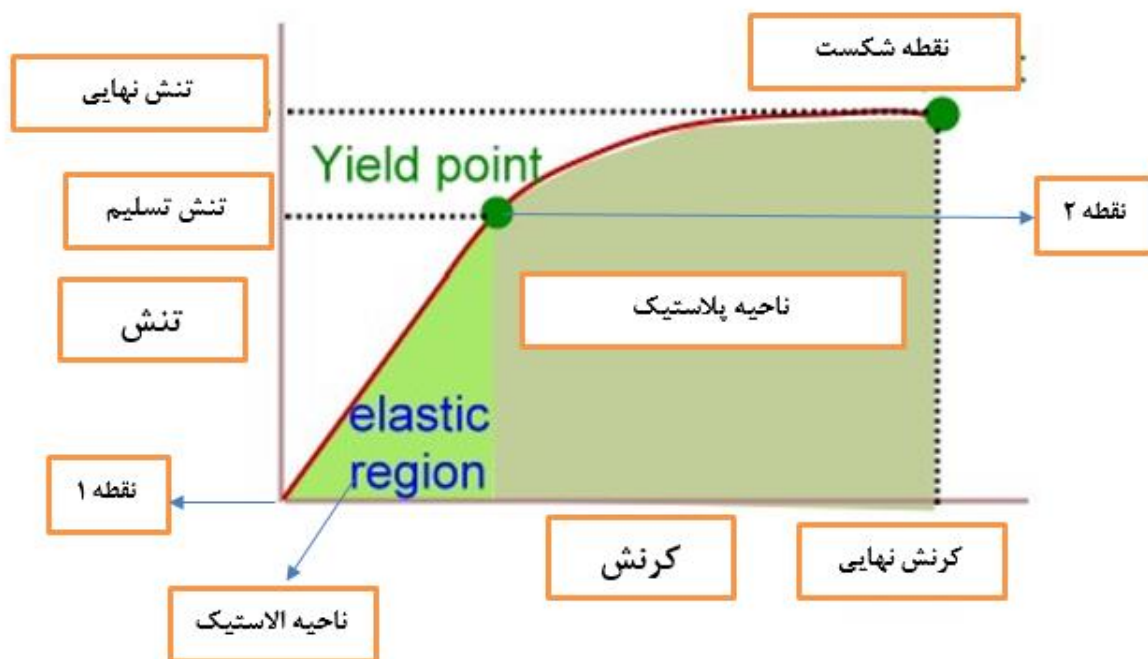
اجازه دهید در مورد همه این انرژی‌ها صحبت کنیم و در ابتدا بر مهم‌ترین بخش معادله بالا تمرکز کنیم.

۱. انرژی کرنشی

انرژی کرنشی همان انرژی تغییر شکل الاستیک است؛ بدان معنی که المان‌های ساختمان در حالت الاستیک باقی می‌مانند و تغییر آن‌ها در محدوده الاستیک خواهد بود. اصل بر هم نهی یا همان سوپروپوزیشن برای این حالت قابل اعمال است. همچنین در این حالت تنش نیز متناسب با کرنش است. در این حالت مقدار انرژی که تلف می‌شود، بسیار کم است. اگر به چرایی آن فکر می‌کنید، باید گفت جواب این است: همان‌طور که گفتیم، انرژی کرنشی در ناحیه الاستیک قرار دارد که اعضا، نیروهای جانبی را تحمل می‌کنند. پس انرژی برابر خواهد بود با:

$$\text{تغییر شکل} \times \text{نیرو} \times \frac{1}{2}$$

حال حتی اگر اعضا به حد تسلیم شدگی هم برسند، تغییر شکل الاستیک باز هم بسیار کم است. به نمودار زیر توجه کنید:

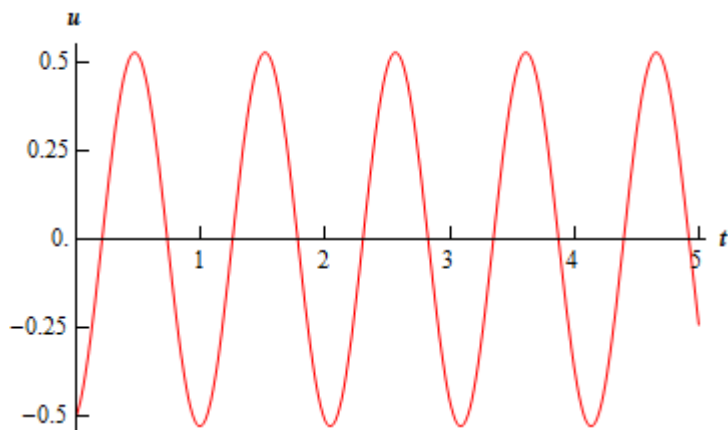


همان‌طور که در شکل بالا مشاهده می‌کنید، انرژی کرنشی در ناحیه الاستیک بسیار کم است. این ناحیه از نقطه ۱ شروع و نهایتاً در نقطه ۲ تمام می‌شود. سطح زیر نمودار نشان دهنده میزان انرژی جذب شده توسط اعضا است. به همین دلیل است که حتی اگر اعضای زیادی وجود داشته باشد، اتلاف انرژی کرنشی در طول زلزله در مقایسه با حالت‌های دیگر بسیار کم است.

۲. انرژی میرا شده (مستهلك شده)

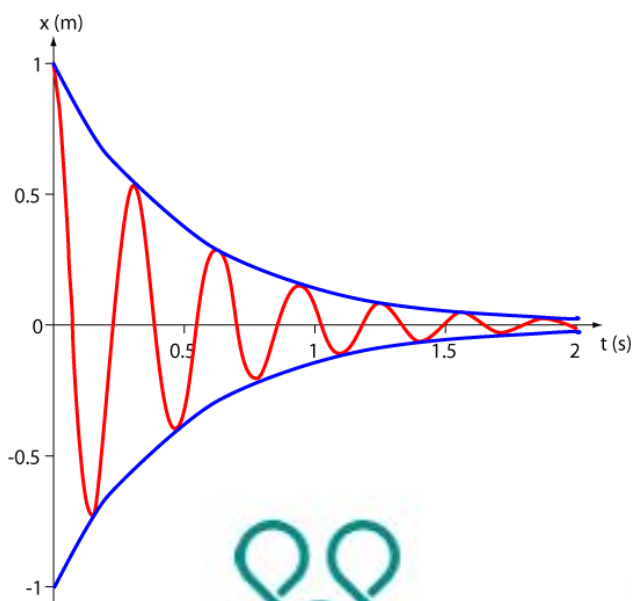
انرژی مستهلك شده، انرژی است که از سیستم خارج می‌شود. یک دیابازون را با دست خود محکم بگیرید و به آن ضربه وارد کنید. در ابتدا ضربه باعث نوسان‌های شدیدی می‌شود اما با گذشت زمان این نوسان‌ها کاهش می‌یابد و سرانجام متوقف می‌شود. ممکن است بپرسید پس انرژی به کجا رفت؟

چرا که باید انرژی ورودی و خروجی برابر باشد. قسمت زیادی از انرژی به انرژی میرا شده تبدیل شده است. چرا این را می‌گوییم؟ خوب، زمانی که شما به این وسیله ضربه وارد می‌کنید، فوراً نوسان پیدا می‌کند و دست شما نیز تکان می‌خورد (به دلیل تماس دست شما با دیپازون و کاملاً صلب نبودن آن). به این صورت، مقدار زیادی از انرژی در محل تماس دست شما با دیپازون تلف می‌شود. علاوه بر این به دلیل اینکه دست شما نیز دچار نوسان شده، بخش دیگری از انرژی تلف می‌شود.



میرایی نوعی چالش برای مهندسان سازه است. می‌دانیم که هر چه سرعت نوسان ساختمان بیشتر باشد، سریع‌تر انرژی را به انرژی مستهلک شده تبدیل می‌کند. این موضوع مستقیماً در ارتباط با سرعت حرکت جسم است. ما از اینکه ضریب میرایی ساختمان چقدر است، اطلاعی نداریم. این مقدار از ۱٫۵ درصد برای ساختمان‌های بلند شروع می‌شود و تا ۵ درصد برای ساختمان‌های بتنی کوتاه ادامه دارد؛ بنابراین در یک ساختمان کوتاه‌تر در مقایسه با یک ساختمان بلندتر انرژی سریع‌تر تلف می‌شود.

پس از پایان زلزله، ساختمان‌های بلند نوسانات آزاد بسیاری را تجربه می‌کنند، در حالی که نوسان ساختمان‌های کوتاه به سرعت و به محض پایان زلزله تمام می‌شود. ساختمان‌های بلندتر به دلیل اینکه ضریب میرایی کمتری دارند، پریود طولانی‌تری خواهند داشت. پریود یک ساختمان بلند در محدوده ۴ تا ۱۰ ثانیه است. این در حالی است که پریود ساختمان‌های کوتاه کمتر از ۱ ثانیه است.



فرض کنید که انرژی آزاد شده را در طول ۲۰ ثانیه اندازه می‌گیرید. دو ساختمان داریم که در آنها ثابت میرایی برابر است اما پریودهای مختلفی دارند. پریود یکی ۱ ثانیه و دیگری ۵ ثانیه است. حال ساختمانی که پریود ۱ ثانیه‌ای دارد در این بازه ۲۰ بار و ساختمانی که پریود ۵ ثانیه‌ای دارد، ۴ بار دچار نوسان می‌شود. اجازه دهید فرض کنیم در هر سیکل ۵ درصد از انرژی کل ساختمان آزاد می‌شود. پس قطعاً ساختمانی که سیکل‌های بیشتری دارد، سریع‌تر انرژی را آزاد می‌کند. مطمئناً پارامترهای مختلف و متعددی باید لحاظ شوند اما این ساده‌ترین راه است که من می‌توانم به توضیح این قضیه بپردازم: چرا نوسانات در ساختمان‌های کوتاه‌تر در مقایسه با ساختمان‌های بلندتر زودتر تمام می‌شوند؟

انرژی مستهلک شده و آزاد شده برای ایجاد ترک در بتن، برخورد دو عضو به یکدیگر، برخورد دیوار به عضو سازه‌ای و ... کافی است.

۳. میراگرهای ویسکوز اضافه شده

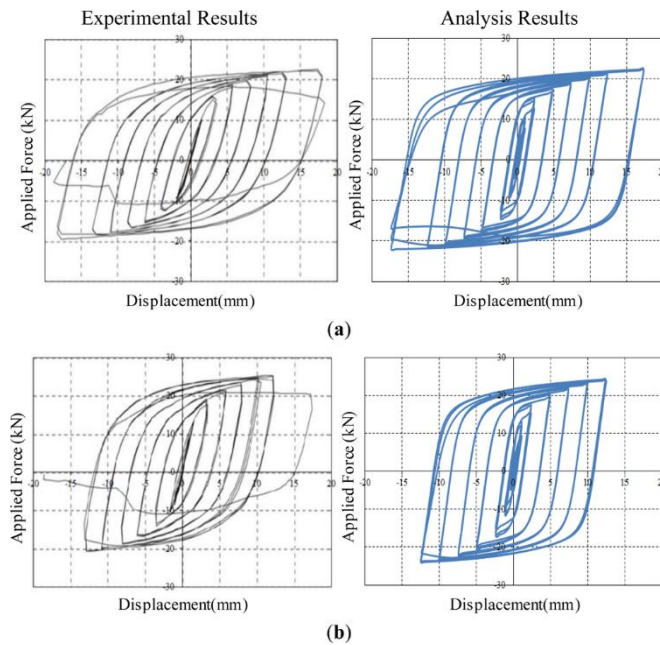
گاهی اوقات، زمانی که ساختمان حتی نسبت به نیروهای کوچک مثل باد هم بسیار حساس است، ما میراگرهای اضافه‌تری را در ساختمان تعبیه می‌کنیم تا انرژی بیشتری مستهلک شود. میراگرها مقدار زیادی از انرژی را جذب می‌کنند. شما می‌توانید میزان میرایی را در میراگرها تنظیم کنید: ۲ درصد، ۳ درصد و یا حتی ۵ درصد.



میراگرها دارای ضریب میرایی بحرانی و یک مقدار برای حداکثر نیرویی هستند که می‌توانند در برابر آن مقاومت کنند. هر نیروی بیشتر از مقدار حداکثر، مقاومت میراگر را در هم می‌شکند و نهایتاً منجر به تغییر شکل‌های بیشتر از مقدار مشخص شده می‌شود؛ بنابراین بسیار مهم است که میراگرها را چگونه مدل‌سازی کنید. در حالت کلی، برای مدل‌سازی باید یک فنر و یک میراگر را در یک مجموعه قرار دهید. فنر نشان دهنده سختی عضو و میراگر نشان دهنده ضریب میرایی خواهد بود. میراگرها را در نقاط متعدد قرار دهید تا ضریب میرایی برای کل ساختمان در نظر گرفته شود.

۴. شکل پذیری

شکل پذیری به عنوان قابلیت تغییر شکل مصالح در خارج از محدوده الاستیک یعنی ناحیه پلاستیک تعریف می شود. شکل پذیری برای رسیدن به ناحیه غیر الاستیک و اتلاف انرژی در این ناحیه مهم است. در صورتی که مصالح شکل پذیر نباشند، این قابلیت را نخواهند داشت که صدها سیکل را در حین زلزله تحمل کنند. این سیکل ها مشابه شکل زیر هستند:



شکل بالا رابطه بین نیروی اعمالی و تغییر شکل را نشان می دهد.

مترجم: بهاره بهرامی

منبع:

<http://www.thestructuralmadness.com/05/2016/earthquake-vs-energy-dissipation.html>