

پایان روش طیف پاسخ (RSM)<sup>۱</sup>

ادوارد ویلسون - ۱۳ جولای ۲۰۱۵

ترجمه: عبدالمهدی عباسی آذر ۹۴

## تاریخچه روش RSM در تحلیل لرزه ای

ری کلاف و من از اینکه در سال ۱۹۶۲ روش تقریبی تحلیل طیفی را ابداع کردیم پشیمانیم. در آن روزگار، تعدادی از حرفه ای ها از مجموع مطلق پاسخ های مودی برای تخمین نیروهای حداکثر اعضا استفاده می کردند. ری پیشنهاد کرد که از روش SRSS برای ترکیب نتایج مودها استفاده کنیم. هرچند، کسی که این روش را در تعدادی از برنامه های تحلیل دینامیکی قرار داد تا مهندسان این امکان را پیدا کنند تا اعدادی مثبت و بی معنی با ارزش کم یا حتی بی ارزش تولید کنند من بودم. اوایل ۱۹۸۰، من و kiureghian روش SRSS را با روش CQC جایگزین کردیم. این رویکرد جدید در ارتعاشات تصادفی ابزارهای مکانیکی برای بدست آوردن مقدار حداکثر مقدار یک نیرو یا جابجایی در نقطه زمانی نامشخص، مورد استفاده قرار گرفته بود. بنابراین استفاده از این روش در مهندسی زلزله، که در آن دوره ارتعاش تنها چند دقیقه است و نه چندین ساعت، نیازمند وارد کردن تقریبات دیگری بود. حالا که ۵۰ سال است با RSM کار می کنم توصیه می کنم از این روش برای تحلیل لرزه ای استفاده نکنید.

## معادله ای که باید خاتمه دهنده روش RSM باشد

در سال ۱۹۹۰، محققین و تعدادی از حرفه ای ها نسبت D/C (ظرفیت به تقاضا) را برای تیرها تعریف کردند. برای اینکه بتوانند شرایط آیین نامه های مختلف را تامین کنند مشخص کردند که در همه اعضای یک بعدی فشاری سازه و در همه نقاط زمانی بایستی رابطه زیر برقرار باشد:

$$R(t) = \frac{|P(t)|}{\phi_c P_{cr}} \pm \frac{M_2(t)C_2}{\phi_b M_{c2} \left(1 - \frac{|P(t)|}{P_{e2}}\right)} \pm \frac{M_3(t)C_3}{\phi_b M_{c3} \left(1 - \frac{|P(t)|}{P_{e3}}\right)} \leq 1.0$$

<sup>۱</sup> Response spectrum method

که در این رابطه، نیروهای وارده به مقطع عضو در زمان  $t$ ،  $P(t)$ ،  $M_2(t)$ ،  $M_3(t)$  (شامل نیروهای استاتیکی قبل از اعمال بارهای دینامیکی هم می شوند) هستند. ثابت های تجربی، وابسته به آیین نامه و مواد بوده و به صورت معمول به ترتیب زیر تعریف می شوند:

$$\phi_c \text{ و } \phi_b = \text{ضرایب مقاومت}$$

$$C_2 \text{ و } C_3 = \text{ضرایب کاهش لنگر}$$

$$M_{C2} \text{ و } M_{C3} = \text{ظرفیت خمشی}$$

$$P_{Cr} = \text{ظرفیت محوری}$$

$$P_{e2} \text{ و } P_{e3} = \text{ظرفیت محوری اوپلر (بار اوپلر) حور محوریهای ۲ و ۳ با طول موثر تقریب زده شده.}$$

برای هر تحلیل تاریخچه زمانی،  $P(t)$ ،  $M_2(t)$ ،  $M_3(t)$  در تمام مقاطع کلیه اعضا، به راحتی به صورت تابعی از زمان محاسبه می شود. بنابراین، حداکثر نسبت تقاضا به ظرفیت  $R(t)$ ، برای تمام ترکیبات بارگذاری به صورت دقیق و مشخص، با هر تحلیل کامپیوتری با استفاده از برنامه های امروزی در کسری از ثانیه محاسبه می شود. تمام برنامه های سری CSI این قابلیت را به صورت درونی، در پس پردازنده های خود دارند. با این وجود، در هر تحلیل پاسخ طیفی، مقادیر  $P(t)$ ،  $M_2(t)$ ،  $M_3(t)$  را نمی توان به صورت دقیق محاسبه کرد؛ زیرا فقط مقادیر مثبت  $P$ ،  $M_2$ ،  $M_3$  تولید می شوند. این مقادیر اوج حداکثر، احتمال بسیار کمی برای وقوع همزمان دارند. بنابراین، نسبت تقاضا به ظرفیت همیشه به میزان قابل توجهی بزرگتر از مقادیر بدست آمده از یک تحلیل تاریخچه زمانی است.

نویسنده، به عنوان مشاور در بهسازی پل San Mateo بعد از زلزله Loma Prieta فعالیت می کرد و تجارب فوق العاده ای با مسئله محاسبه تقاضا به ظرفیت با استفاده از روش تحلیل طیفی دارد. زلزله شناسان و مهندسين ژئوتکنیک دو مجموعه متفاوت از حرکت های سه بعدی زمین تولید کردند. آنها هر دو حرکت های حوزه دور و نزدیک گسل های Hayward و San Andreas را تولید کردند. سپس، از حرکت های مختلف زمین میانگین گیری کردند و طیف پاسخ سه بعدی را برای استفاده در طراحی و بهسازی پل بدست آوردند.

گروه مهندسی سازه ای که استفاده از تحلیل طیفی را برای تحلیل و بهسازی پل آزمودند، پی بردند که تعداد زیادی از اعضای سازه نیاز به بهسازی دارند. بعد از مطالعه دقیق پاسخ های حداکثر نیروهای اعضا (به ویژه نیروهای حداکثر محوری)، آنها تصمیم به اجرای تحلیل تاریخچه زمانی با استفاده از رکوردهای زمانی پایه

مورد استفاده در تهیه طیف گرفتند. بعد از اجرای تمام رکوردهای تاریخچه زمانی، حداکثر نسبت تقاضا به ظرفیت به تابع زمان، به میزان تقریباً ضریب سه، در مقایسه با روش طیفی کاسته شد.

تنها عذر و بهانه ای که می توانم برای دست اندرکار بودنم در توسعه روش تحلیل طیفی بیاورم اینست که در سال ۱۹۶۲ ما تنها سه حرکت لرزه ای واقعی در اختیار داشتیم؛ حالا ما چندین هزار زلزله رکورد شده در اختیار داریم. بنابراین، هم اکنون این مسئولیت نسل شماست که جامعه حرفه ای را به سطح بالاتری هدایت کند و استفاده از تحلیل طیفی را به کناری گذارد. علاوه بر این، هزینه های محاسباتی در این ۵۰ سال ۱۰۰ میلیون بار کمتر شده است.

### توصیه من

بعد از انجام تحلیل دینامیکی چند صد سازه مختلف، تحت جابجایی های لرزه ای، معمولاً بیشتر زمانم را به مشخص کردن المان های سازه ای و آماده کردن مدل کامپیوتری اختصاص می دهم. بعد از اینکه یک مدل کامپیوتری قابل اعتماد ایجاد شد، من با مدل "بازی" می کنم. منظورم از "بازی" تلاش برای فهم فیزیکی رفتار دینامیکی سازه است.

نخست؛ به پلات انیمیشنی اشکال مودی و جهت برش های پایه نگاه کنید و ببینید که آیا مودهای پایین، پیچش قابل توجهی در پایه ایجاد می کنند یا خیر. اگر چنین وضعیتی باشد، پیشنهاد می کنم سازه بازطراحی شود تا پیچش در مودهای پایین حداقل گردد. این همان دلیلی است که نشان می دهد چرا طراحی و تحلیل نباید توسط افراد جداگانه انجام شود. جهت برش پایه مود اول، با طولانی ترین پریرود سازه ای، مشخص کننده جهت اصلی سازه است. عموماً، برش پایه مود دوم باید تقریباً ۹۰ با مود اول زاویه داشته باشد. این، دو جهتی که باید جابجایی زلزله اعمال شود را مشخص می کند نه منطبق بر محورهای X-Y و نه جهت شمالی جنوبی.

دوم؛ از چندین رکورد لرزه ای با شدت و مدت زمان مختلف استفاده می کنم تا چک کنم نخست کدامیک از اعضا تسلیم می شوند. همچنین بررسی می کنم کدامیک از اعضا دست بالا طراحی شده اند. آنگاه، سازه را دوباره طراحی می کنم و با طرح های مختلف "بازی" می کنم.

سوم؛ اخیراً کمپانی CSI قابلیت تولید "تاریخچه زمانی" از روی طیف تعریف شده کاربر را فراهم کرده است. بنابراین، حالا برای هر مهندس سازه ای امکان پذیر است که سازه های پیچیده را تحلیل خطی تاریخچه زمانی کند و در عین حال کلیه الزامات آیین نامه ای سیستم های مختلف ساختمانی را نیز تامین نماید.

به صورتی کاملاً جدی، این روزها امکان بازی با سازه های پیچیده در چند روز محدود کار سرگرم کننده، وجود دارد. SAP۲۰۰۰ یا ETABS برنامه های فوق العاده ای برای طراحان هستند تا پژوهش های خود را روی رفتار انواع مختلف سیستم های سازه ای انجام دهند.

چرا باید کسی یک المان قابی سه بعدی را طراحی کند که در تعادل نباشد؟

یک انسان اولیه نباشید

استفاده از روش طیفی قبل از اینکه مهندسین از روش طراحی بر اساس عملکرد استفاده کنند باید خاتمه یابد. بعد از اینکه آنها تحلیل تاریخیچه زمانی را انجام دادند، مهندسین تشخیص خواهند داد که تحلیل غیرخطی ساده است.

استفاده از روش تحلیل سریع غیرخطی<sup>۲</sup> FNA اجازه خواهد داد که تعدادی از سازه ها بعد از زمین لرزه های بزرگ قابل تعمیر باشند.

روش FNA توسط من و CSI طی ۲۵ سال گذشته توسعه و صحت آزمایی شده است. این روش به کلیه کاربران فعلی CSI Bridge, ETABS, SAP۲۰۰۰ اجازه می دهد که تعداد کمی از المان های خطی را با المان های غیرخطی جایگزین نمایند. بنابراین لازم نیست کاربر، یک مدل جدید بسازد یا از یک برنامه کامپیوتری جدید استفاده کند. بر پایه مفهوم پایستگی انرژی، برنامه به صورت اتوماتیک اندازه گام های زمانی را انتخاب می کند. بنابراین، روش بسیار هوشمند و به ندرت از دستیابی به پاسخ باز می ماند.

در طول ۲۰ سال گذشته، روش FNA نشان داده است که توافق فوق العاده ای با نتایج آزمایشگاهی آزمون های دینامیکی مدل های غیرخطی دارد. این برای من بسیار خرسند کننده است که، تمام مهندسین سازه سراسر دنیا، از روش FNA برای طراحی سازه های عملکردی واقعی که معادلات اساسی دینامیک را در تمام نقاط زمانی ارضا می کند استفاده نمایند.

## خاتمه بررسی

استفاده از روش تحلیل طیفی در مهندسی زلزله باید خاتمه یابد.

این روش یک روش تحلیل دینامیکی نیست - نتایج تابعی از زمان نیستند.