

مقایسه ضوابط آیین نامه ای تحلیل لرزه ای در ترکیب مولفه های متعامد زلزله

سید علی موسوی داودی

فارغ التحصیل کارشناسی مهندسی عمران - دانشکده فنی ساری (امام محمد باقر(ع))

چکیده :

امروزه آنالیز دینامیکی سه بعدی برای تعداد قابل توجهی از سیستم‌های سازه ای که در پهنه‌های لرزه خیز در حال ساخت هستند، مورد نیاز می‌باشند. همانطور که می‌دانیم جهت اعمال نیروهای جانبی (زلزله)، روشهای مختلفی برای توزیع نیروها بر سازه وجود دارد، اما در این راستا به بررسی و کار بیشتری مورد نیاز است. بزرگترین مزیتی که استفاده از نیروهای بدست آمده از تحلیل دینامیکی به عنوان پایه طراحی دارد، اختلاف مهم در توزیع واقعی قائم نیروهای لرزه نسبت به روش استاتیکی معادل می‌باشد. در نتیجه استفاده از تحلیل دینامیکی، سازه ای را به وجود می‌آورد که مقاومتر از سازه ای است، که براساس روش استاتیکی معادل، تحلیل و طراحی شده است. روش تقریبی دوبعدی استاتیکی معادل، برای سالها بعنوان پایه طراحی لرزه ای عمده سیستم‌های سازه ای در بسیاری از نقاط مختلف جهان قابل قبول بود. اما در خلال بیست سال اخیر، به جهت افزایش قابلیت‌های نرم افزاری، بیشتر مهندسين تجاربی در خصوص تحلیل استاتیکی معادل در مدل‌های سه بعدی بدست آورده‌اند. همچنین آیین نامه های طراحی لرزه ای، تحلیل سه بعدی را برای سازه های مهم لازم دانسته و روشهایی برای در نظر گرفتن پاسخ نهایی و ماکزیمم سازه با در نظر گرفتن اثرات ترکیب مولفه های زلزله در جهات مختلف ارائه کرده اند. با این وجود به نظر می رسد که آیین نامه های لرزه ای نگرش یکسانی در ارزیابی ترکیب مولفه های متعامد زلزله ندارند. در این مقاله سعی شده است علاوه بر ارائه خلاصه ای از ضوابط موجود در آیین نامه های لرزه ای دنیا، به نقاط قوت و ضعف ضوابط مربوط به ترکیب اثر مولفه های مختلف زلزله پرداخته و همچنین پیشنهاد هایی در جهت کاربردی تر شدن این ضوابط ارائه شده است.

واژگان کلیدی : تحریک چند جهته دینامیکی، تحلیل سه بعدی سازه ها، اثر مولفه قائم زلزله، همبستگی مولفه های زلزله

Compare regulations for seismic analysis combined orthogonal components of earthquake (Code96H)

Seyed Ali Mousavi Davoudi

Graduate of Civil Engineering - Technical University of Sari

Abstract:

The three-dimensional Dynamic Analysis for a significant number of structural systems that are under construction in seismic zones, are required. As we know to apply lateral forces (earthquake), there are different ways to distribute the forces on structures, but in this context, to review and further work is required. The biggest advantage that the forces obtained from dynamic analysis as the basis for the design, significant differences in the actual distribution of vertical earthquake forces is not the equivalent static method. As a result the use of dynamic analysis, structural and creates the resistance of the structure, which is based on equivalent static method, analysis and design, two-dimensional approximate equivalent static method, for many years as the basis for seismic design of system structures in many parts of the world, was acceptable. But during the last twenty years, due to increased software functionality, more experienced engineers about static analysis of the obtained three-dimensional models as well as seismic design codes, three-dimensional analysis for important structures Nevertheless it seems that the same approach in assessing seismic regulations earthquake orthogonal components are combined.

Keywords: stimulating multi-directional dynamic, three-dimensional analysis of structures, the effect of the vertical component, correlation of earthquake

۱- مقدمه

نحوه اعمال نیروهای عمود بر هم زلزله بر سازه همواره جزو یکی از چالش های مهندسی عمران بوده است ، به همین دلیل آیین نامه ها برای اعمال این نیروها در آیین نامه ها روش های متفاوتی در نظر گرفته اند. از جمله این روشها می توان به روش SRSS، روش 100-30، روش 100-40 و روشهای دیگری اشاره نمود. لزوم بررسی این موضوع که نحوه پاسخ سازه در کدام روش به واقعیت نزدیکتر می باشد جزو یکی از نیازهای جامعه مهندسی می باشد. اثرات مولفه های چند محوری زلزله در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است و در ضمن ذکر این موضوع که دو مؤلفه زلزله کاملاً مستقل از همدیگر گرفته شده اند مؤلفه اول در امتداد گسل (مؤلفه شعاعی) و مؤلفه دوم عمود بر آن (مؤلفه مماسی) می باشد. قابل تأمل می باشد، در ضمن از اثرات مؤلفه قائم زلزله نیز صرف نظر گردیده است.

۲- ضوابط آیین نامه ها در تحلیل سه بعدی دینامیکی سازه ها

در زیر به مطالعه آیین نامه های مختلف در زمینه تحلیل های سه بعدی دینامیکی پرداخته شده است..

الف- آیین نامه 7-05 ASCE

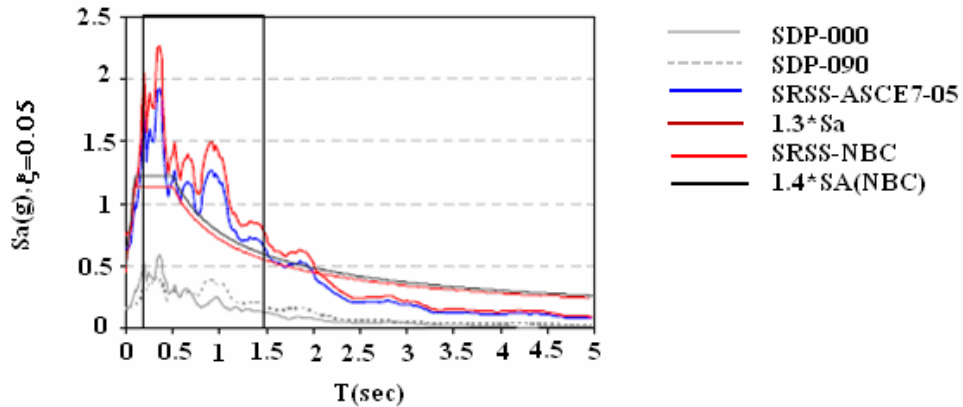
بر اساس آیین نامه ASCE تحلیل تاریخیچه زمانی سازه ها بر پایه ضوابط زیر صورت می گیرد در تحلیل دو بعدی دینامیکی تاریخیچه زمانی سازه ها، حداقل سه رکورد زلزله افقی لازم است که بر مبنای تاریخیچه زلزله در منطقه و یا به طور مصنوعی تولید می شوند در تحلیل سه بعدی حداقل باید سه زوج رکورد زلزله افقی واقعی یا مصنوعی منطبق بر طیف به نحوی مقیاس گردند که میانگین مجذور مربعات طیف پاسخ (SRSS) بیشتر از ۱۰ درصد کمتر از $1/3$ برابر طیف پاسخ طراحی در محدوده ۲۰ درصد و ۱۵۰ درصد دوره تناوب اصلی سازه نشود .

ب- آیین نامه 2800

در روش تاریخیچه زمانی حداقل سه زوج شتابنگاشت متناسب با منطقه لازم است که کلیه این شتابها به مقدار حداکثر خود مقیاس می شوند، بدین معنی که شتاب حداکثر همه آنها برابر $1g$ باشد. سپس طیف پاسخ هر زوج شتابنگاشت با استفاده از روش SRSS با یکدیگر ترکیب شده و یک طیف ترکیبی واحد برای هر زوج ساخته شود. در این حالت ضریب مقیاس (که در شتابنگاشت های مورد نظر ضرب می گردد) چنان انتخاب می شود که متوسط طیف های ترکیبی در محدوده دوره تناوبهای $0.2T$ و $1.5T$ در هیچ حالت کمتر از $1/5$ برابر مقدار نظیر آن در طیف استاندارد نباشد. بعد از مقیاس شتابنگاشت ها، هر زوج شتابنگاشت به طور همزمان در دو جهت عمود بر یکدیگر در امتداد های اصلی سازه، به آن اثر داده می شود شکل (۱)، و بازتابهای سازه به صورت تابعی از زمان تعیین می شوند. بازتاب نهایی سازه در هر لحظه زمانی برابر با حداکثر بازتاب های بدست آمده از تحلیل با سه زوج شتاب نگاشت مورد نظر خواهد بود. همچنین براساس آیین نامه اگر به جای سه شتابنگاشت از هفت شتابنگاشت جهت تحلیل استفاده شود می توان متوسط مقادیر بازتاب را به عنوان بازتاب نهایی سازه در نظر گرفت. در روش فوق اثر پیچش و پیچش تصادفی با در نظر گرفتن برون مرکزی نیروی جانبی واقعی طبقه و همچنین برون مرکزی اتفافی طبقه بدست می آید. برون مرکزی اتفافی به منظور به حساب آوردن احتمال تغییرات اتفافی توزیع جرم و سختی از یکسو و نیروی ناشی از مولفه پیچشی زلزله از سوی دیگر در نظر گرفته می شود که در هر دو جهت برابر ۵ درصد بعد ساختمان در آن جهت است. همانطور که اشاره شد با مقیاس نمودن ماکزیمم شتاب هر دو مولفه به مقدار یکسان، سعی شده است که اثر زاویه ورودی مولفه های زلزله در آن حذف گردد. همچنین این آیین نامه با در نظر گرفتن ضریب $1/4$ برابر طیف آیین نامه، حاشیه ایمنی بیشتری در ارتباط با تحلیل چند جهته ایجاد می کند. در آیین نامه های دیگر این ضریب تا حدی کاهش داده شده است.

۳- مقایسه نتایج خروجی تحلیل آیین نامه ۲۸۰۰ و 7-05 ASCE

مطالعات محققان نشان داده است که، طیف پاسخ ترکیبی SRSS بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ به طور قابل ملاحظه ای بالاتر از طیف استاندارد است. به نظر می رسد که ضوابط ارائه شده در آیین نامه ۲۸۰۰ در تحلیل تاریخیچه زمانی تا حد زیادی محافظه کارانه باشد به همین دلیل در آیین نامه های 7-05 ASCE و سایر آیین نامه ها مورد استفاده قرار می گیرد. ضریب $1/4$ تا حدی تعدیل شده است و طیف برآیند و در نتیجه ضرایب مقیاس پایین تری نسبت به آیین نامه ۲۸۰۰ خواهد داشت. همانند آیین نامه ۲۸۰۰ اگر ۷ رکورد زلزله جهت تحلیل استفاده گردد می توان مقدار میانگین نیروهای داخلی و تغییر مکان بدست آمده را مینا قرار داد در حالی که اگر تعداد رکوردها کمتر از این مقدار باشد، مقادیر ماکزیمم بدست آمده ملاک طرح خواهد بود. در شکل ۱ می توان مقایسه بین طیف های بدست آمده از ضوابط روش آیین نامه ۲۸۰۰ و 7-05 ASCE را مشاهده نمود.



شکل ۱: مقایسه طیف برآیند در تحلیل دو جهت رکورد زلزله آیین نامه ۲۸۰۰ و ASCE

۴- آیین نامه 1997-UBC

برای تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی، شتابنگاشت های افقی باید منطبق بر طیف آیین نامه و یا طیف منطقه باشد و به طور کلی مولفه قائم از ضرب مولفه افقی زلزله در ضریب 0.666 بدست می آید، مگر اینکه مطالعات منطقه (پارامتر نزدیکی گسل $Na > 1$ باشد) عدد دیگری را نشان دهد. در تحلیل سه بعدی حداقل باید سه زوج رکورد زلزله افقی واقعی یا مصنوعی منطبق بر طیف به نحوی مقیاس شوند که میانگین مجذور مربعات طیف پاسخ مولفه های آنها (SRSS) بیشتر از ۱۰ درصد کمتر از $1/4$ برابر طیف پاسخ طراحی در محدوده ۲۰ درصد و ۱۵۰ درصد دوره تناوب اصلی سازه نشود. در این حالت دو مولفه افقی همزمان به سازه با در نظر گرفتن اثرات پیچش اعمال می شود.

۵- آیین نامه 2003-IBC

به طور کلی ترکیب مولفه های زلزله در تحلیل های مختلف در این آیین نامه از آیین نامه 7-05 ASCE تبعیت می کند و این آیین نامه ضوابط جداگانه ای را در این مورد معرفی نمی کند.

۶- آیین نامه 1998-Euro code 8

این آیین نامه، جهت تحلیل تاریخچه زمانی برای سازه های منظم، اعمال شتابنگاشت در یک جهت را کافی می داند، اما برای تحلیل سازه های نامنظم و بلند باید مولفه های افقی به طور همزمان به سازه اعمال گردد. در مورد مقیاس کردن شتابنگاشتها آیین نامه مربوط به ساختمانها اشاره خاصی نکرده است ولی در آیین نامه مربوط به پل ها آیین نامه توصیه می کند که ضریب مقیاس به نحوی انتخاب شود که ترکیب SRSS طیف آنها از $1/3$ برابر طیف طراحی کمتر نشود.

در صورت عدم دسترسی به شتابنگاشت های طبیعی، می توان از شتابنگاشت های مصنوعی استفاده کرد که منطبق بر طیف آیین نامه باشد. با اعمال شتابنگاشت ها به طور مستقل به سازه و با ترکیب SRSS یا مودی، پاسخ سازه بدست می آید. در این حالت برش پایه بر اساس برش پایه استاتیکی مقیاس می شود. در سازه های با دهانه بیش از ۲۰ متر، تیرهای طره ای، اعضای بتنی پیش تنیده و تیرهای حمل ستون ها اعمال شتابنگاشت قائم همراه با مولفه های افقی الزامی می باشد که به صورت زیر باید مقیاس گردد:

برای سازه های با دوره تناوب کمتر از 0.15 ثانیه، 0.7 سازه های با دوره تناوب بیش از 0.5 ثانیه، 0.5 و برای سازه های با پرورد ما بین از درون یابی استفاده می شود. در این حالت تنها عضو مورد نظر به همراه اعضای متصل به آن تحت بار قائم قرار میگیرد و برای کل سازه در نظر گرفتن این مولفه لازم نیست.

۷- آیین نامه FEMA368

این ضوابط از لحاظ تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی با آیین نامه 7-05 ASCE مشابه است

۸- مقایسه ضوابط آیین نامه ها در انتخاب رکوردهای زلزله

تقریباً در تمام آیین نامه ها تفاوت چندانی بین انتخاب رکورد زلزله در یک جهت و چند جهت وجود ندارد. استفاده از شتابنگاشت یکسان در دو جهت زلزله قابل قبول نمی باشد. حتی آیین نامه 98-ASCE4 استفاده از یک شتابنگاشت در دو جهت را با وجود تاخیر فاز در یک جهت جایز نمی داند. در جدول (۱) ضوابط آیین نامه های طراحی در زمینه انتخاب رکوردهای زلزله که در تحلیل چند جهته مورد استفاده قرار می گیرند با یکدیگر مقایسه شده اند. در این جدول خانه های پر شده بیانگر ملاک انتخاب در آیین نامه مورد نظر می باشد، همانطور که از جدول مشخص است، آیین نامه 98-ASCE4 با سایر آیین نامه ها تفاوت مشخصی دارد که در آن شکل طیفی و وابستگی رکوردهای زلزله به یکدیگر ملاک انتخاب قرار گرفته است، در حالیکه در سایر موارد انتخاب رکورد زلزله بر مبنای مشخصات گسل و فاصله آن تا محل و همچنین نوع خاک منطقه انجام می گیرد.

جدول (۱) تعریف مشخصات رکوردهای زلزله در آیین نامه های طراحی لرزه ای

آیین نامه	شدت زلزله	فاصله تا گسل	مکانیزم گسل	نوع خاک منطقه	مدت زمان زلزله	شکل طیفی	وابستگی مولفه های زلزله	تعداد حقایق رکوردهای زلزله	نوع شتابنگاشت	زاویه ورودی شتابنگاشت
2800	*	*	*	*	*			MIN: 3 MAX: 7 ^۲	طبیعی مصنوعی [۲]	جهت اصلی سازه
ASCE7-05	*	*	*					MIN: 3 MAX: 7 ^۲	طبیعی مصنوعی [۲]	زاویه بحرانی
ASCE498			*	*	*	*	*	1	طبیعی مصنوعی [۲]	جهت اصلی سازه
FEMA368	*	*	*					MIN: 3 MAX: 7 ^۲	طبیعی مصنوعی [۲]	زاویه بحرانی
EC8	*	*	*	*				MIN: 3 MAX: 7 ^۲ و	طبیعی مصنوعی [۲]	جهت اصلی سازه
IBC2003	*	*	*					MIN: 3 MAX: 7 ^۲	طبیعی مصنوعی [۲]	زاویه بحرانی
UBC97	*	*	*					MIN: 3 MAX: 7 ^۲	طبیعی مصنوعی [۲]	زاویه بحرانی

[۱]- با استفاده از سه رکورد زلزله مقادیر ماکزیمم و استفاده از ۷ رکورد میانگین نتایج معیار خواهد بود.

[۲]- هر کدام از سه حالت می توانند به عنوان شتابنگاشت مورد استفاده قرار بگیرد.

[۳]- تنها در صورت موجود نبودن رکورد طبیعی استفاده از شتابنگاشت های مصنوعی مجاز است.

همچنین اختلافی بین آیین نامه در استفاده از رکورد های مصنوعی زلزله و اصلاح شتابنگاشت های طبیعی وجود دارد. در حالیکه آیین نامه های ۲۸۰۰، ASCE7-05، ASCE4-98، IBC و FEMA 368 استفاده از زلزله های واقعی را توصیه می کنند و استفاده از رکورد های مصنوعی را در صورت نبود رکوردهای طبیعی مجاز می داند، آیین نامه EC8 استفاده از رکورد های مصنوعی یا طبیعی را به طراح واگذار می کند. در هر صورت در تولید شتابنگاشت های مصنوعی باید اثر وابستگی رکورد های زلزله دیده شود. در مورد وابستگی رکورد های زلزله تنها آیین نامه ASCE4-98 ضابطه ای دارد که باید مولفه های زلزله که مورد استفاده قرار می گیرند مستقل از یکدیگر باشند. در این حالت اشاره می کند که برای استقلال دو مولفه از یکدیگر ضریب همبستگی دو مولفه باید کمتر از ۰/۳ باشد. در مورد استقلال مولف های زلزله در بخشهای بعد توضیحات بیشتری ارائه خواهد شد. در مورد زاویه اعمالی مولفه های شتابنگاشت ها، آیین نامه های ۲۸۰۰، ASCE4-98 و EC8 توصیه می کنند که مولفه های رکورد زلزله در جهات اصلی به سازه اعمال شوند اما توضیحی در مورد اینکه جهات اصلی برای سازه نامنظم چگونه تعیین می شوند نداده است. سایر آیین نامه های مورد بررسی، تنها اعمال شتابنگاشت ها در زاویه بحرانی را مجاز می داند. در این حال برای بدست آوردن زاویه بحرانی معمولاً جهت مولفه های زلزله را با زوایای ۱ یا ۵ درجه می چرخانند و پاسخ را در هر زاویه بدست آورده و ماکزیمم آن را ملاک قرار می دهند. بعد از تحلیل سازه تحت شتابنگاشت های زلزله، برآیند پاسخ سازه در دو جهت با ظرفیت سازه مقایسه و ملاک ارزیابی نهایی قرار خواهد گرفت. همچنین در آیین نامه ها اشاره شده است که اگر سه رکورد جهت تحلیل استفاده گردد، پاسخ ماکزیمم و اگر ۷ رکورد جهت تحلیل استفاده شود، متوسط پاسخ ها ملاک ارزیابی خواهد بود.

۹- انتخاب و مقیاس کردن رکورد های زلزله

به طور کلی انتخاب رکورد های زلزله بر مبنای دو پارامتر عمده انتخاب می شود .

- ۱- سناریوی زلزله به معنای انتخاب رکورد زلزله بر مبنای مشخصات گسل و منطقه
- ۲- مشخصات طیف منطقه و مدت زمان زلزله.

در هر صورت اولین معیار انتخاب رکورد زلزله برای تحلیل چند جهته داشتن چند مولفه برای رکورد است. دوم بحث محتوای فرکانسی است که بستگی به دوره فرکانس ارتعاشی سازه ای دارد که مورد تحلیل قرار می گیرد. برای مثال برای سازه های با دوره تناوب بالا تعداد رکورد های مناسب کاهش می یابد. سوم نحوه ثبت رکورد زلزله و فیلتر کردن است که تنها مربوط به رکورد برای تحلیل چند جهته نبوده برای رکورد های تک جهته نیز صادق است .

الف- انتخاب رکوردها براساس پارامتر های زلزله

براساس ضوابط آیین نامه ها در انتخاب رکوردهای زلزله براساس پارامترهای زلزله، سه پارامتر اصلی که عبارتند از : بزرگا، فاصله تا گسل و خاک منطقه را باید ملاک انتخاب قرار داد. زیرا بسیاری از مهمترین خواص زلزله مانند محتوای فرکانسی، دامنه و شکل طیفی و مدت زمان زلزله به سه پارامتر وابسته اند. شرایط خاک منطقه براساس سرعت موج برشی در بالاترین لایه خاک تعیین می شود. به جای انتخاب رکورد های زلزله که در خاک منطقه ثبت شده باشد می توان از رکوردهای ثبت شده بر روی سنگ بستر که با استفاده از توابع انتقالی به رکوردهای در خاک منطقه تبدیل می شوند استفاده کرد. یکی دیگر از معیارهای انتخاب رکورد زلزله تابع اِپسیلون $\epsilon(T_i)$ است که بیانگر شکل طیف در نزدیکی T_i است. در حالیکه مقادیر مثبت (T_i) است. در حالیکه مقادیر مثبت $\epsilon(T_i)$ بیانگر یک طیف نسبت به نقاط مجاور است، مقدار منفی آن بیانگر پایین تر بودن طیف نسبت به نقاط دیگر مجاور می باشد. در حالیکه این پارامتر یکی دیگر از پارامترهای انتخاب مکانیزم گسل است، پیشنهاد شده است که می توان این پارامتر را در نظر نگرفت، مگر اینکه با در نظر گرفتن این پارامتر بتوان تعداد بیشتری رکورد زلزله را مورد استفاده قرار داد. در هر حال اگر سطح خطر در یک منطقه بر اساس طیف طرح آیین نامه تعیین گردد، انتخاب رکوردهای زلزله بر اساس شرایط گسل کلاً غیرممکن خواهد بود مگر اینکه پارامترهای زلزله عملاً براساس طیف طرح تعریف شوند.

ب- انتخاب رکورد ها براساس طرح منطقه و مدت زمان زلزله

همانطور که اشاره شد اگر سطح خطر زلزله برای یک منطقه براساس طیف طرح استاندارد مشخص شده باشد، انتخاب رکورد ها براساس طیف منطقه بسیار راحت تر از انتخاب براساس پارامترهای زلزله خواهد بود. با این حال از آنجا که مدت زمان زلزله به بزرگا و فاصله تا گسل بستگی دارد، استفاده از معیار زمان به عنوان پارامتر انتخاب برای چنین منطقه ای عملاً ممکن نخواهد بود. محققان راه های مختلفی برای انتخاب رکورد های زلزله بر اساس طیف پیشنهاد کردند، با این حال استفاده از روش حداقل مجذور مربعات برای انتخاب رکورد زلزله استفاده می شود که در زیر آمده است.

$$D_{\text{rms}} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{S_{a_R}(T_i)}{PGA_R} - \frac{(S_{a_T}(T_i))}{PGA_T} \right]^2} \quad (1)$$

در روابط فوق $SaR(Ti)$ و $SaT(Ti)$ به ترتیب طیف پاسخ شتاب رکورد زلزله و طیف هدف در پیرو Ti و $PGAR$ و $PGAT$ ماکزیمم شتاب زلزله و شتاب طیف پاسخ در $T=0$ و N تعداد پیرودهای نوسانی انتخاب شده می باشد. روابط دیگری نیز برای در نظر گرفتن دوره تناوبهای مشخص پیشنهاد شده است که خارج از بحث می باشد. در تحلیل های غیرخطی به دلیل افزایش دوره تناوب سازه پیشنهاد می شود که بازه طیف برای $[T_m, \sqrt{(\mu\Delta T I)}]$ در نظر گرفته شود، که در آن T_m پیرودها بالاترین مود ارتعاشی و $\mu\Delta$ ضریب شکل پذیری است. $\sqrt{(\mu\Delta T I)}$ مربوط به دوره تناوب موثر است که در طراحی بر مبنای تغییر مکان تعریف می شود. براساس تحقیقات صورت گرفته نشان داده شده است که انتخاب رکورد های زلزله بر اساس طیف طرح به پراکندگی کمتری در نتایج منجر خواهد شد که از این لحاظ برانتخاب رکوردهای زلزله براساس پارامترهای زلزله ارجحیت دارد. در این حالت تعداد کمتری رکورد زلزله برای ارزیابی سازه مورد نیاز خواهد بود. در بحث تعداد سیکل های موثر و مدت زمان زلزله هنوز محققان به جمع بندی واحدی نرسیده اند در عین حال تاثیر تعداد سیکل های موثر بر پاسخ سازه تا حد زیادی به شاخص در نظر گرفته شده بستگی دارد، مثلاً پارامترخرابی تجمعی که برای تخمین خرابی در بتن مسلح در نظر گرفته می شود تا حد زیادی به تعداد سیکل های موثر وابسته است. همچنین این پارامتر در مدلسازی مصالحی که با افزایش سیکل های بارگذاری افت مقاومت پیدا می کنند تاثیر گذار است، که البته معمولاً این نوع مدل سازی کار چندان راحتی نخواهد بود. همچنین نشان داده شده است که وابستگی مدت زمان زلزله و تعداد سیکل های موثر ضعیف است و اگر وابستگی این دو و تاثیر آن بر روی رفتار سازه وجود داشت، در این صورت می توان گفت که در نظر گرفتن چنین پارامتری در انتخاب رکوردهای زلزله ضروری می نمود. براساس تحقیقات انجام گرفته پاسخ سازه با انتخاب رکوردهای زلزله بر اساس سازگاری با طیف پاسخ نسبت به انتخاب بر مبنای سناریوی زلزله بر اساس بزرگا، فاصله، تابع اسیلوی و دوره تناوب اصلی سازه به ضریب تغییرات کمتری منجر می شود. در این حالت به تعداد رکورد کمتری برای رسیدن به پاسخ نهایی سازه نیاز خواهد بود.

۱۰ انواع روش مقیاس کردن رکورد های زلزله

روش اول: استفاده از میانگین حسابی شتاب طیفی خطی در پیرودها با میرایی ۵ درصد ($Sa(T_0)$) در این روش کلیه رکوردها، به میانگین ($Sa(T_0)$) مقیاس می شوند به این صورت که میزان شتاب طیفی رکوردها در زمان تناوب اصلی سازه محاسبه و میانگین گیری می شود. سپس تمام رکوردها در ضرایبی ضرب می شوند که میزان شتاب طیفی آنها در زمان تناوب ارتعاشی اصلی سازه یکسان شود

روش دوم: استفاده از میانگین حسابی متوسط شتاب طیفی در محدوده زمان تناوب خطی مود اول ارتعاشی و زمان تناوب غیر خطی مود اول ارتعاشی ($Sa(T_0 - T_\mu)$) برای رکوردهای مختلف در میرایی ۵ درصد. در این روش کلیه رکوردها به میانگین ($Sa(T_0 - T_\mu)$) مقیاس می شوند به این صورت که در محدوده زمان تناوب خطی و غیر خطی مود ارتعاش اصلی سازه ابتدا از شتاب طیفی ($Sa(T_0 - T_\mu)$) در هر رکورد متوسط گیری می شود، سپس میانگین این متوسط ها محاسبه و مقیاس سازی به نحوی انجام می شود که متوسط شتاب طیفی در محدوده T_0 تا T_μ در تمامی رکوردهای اصلاح شده یکسان باشد. رابطه تقریبی زیر برای برآورد زمان تناوب غیرخطی سازه T_μ پیشنهاد شده است.

$$T_\mu = T_0 \sqrt{\frac{\mu}{\alpha_\mu + 12\alpha}} \quad \mu = \frac{\Delta_{min}}{\Delta_y} \quad (2)$$

در این رابطه T_μ زمان تناوب غیرخطی سازه، T_0 زمان تناوب اصلی سازه، ضریب شکل پذیری μ ، شیب ناحیه غیرخطی نمودار معادل شده نیرو - تغییر شکل حاصل از تحلیل سازه Δ_{nlin} جابجایی غیرخطی حداکثر، Δ_y جابجایی خطی حداکثر می باشد.

نکته: در روش اول و دوم ضریبی که بدست می آید ضریب اولیه می باشد که پس از مقایسه با طیف استاندارد ضریب ثانویه بدست می آید

روش سوم: روش مقیاس سازی در حوزه زمان. در این روش رکوردها به نحوی مقیاس سازی می شوند تا بهترین انطباق بین طیف پاسخ ارتجاعی زلزله و طیف استاندارد در یک محدوده خاص از زمان تناوب صورت گیرد. روش کار بر پایه مینیمم کردن اختلاف بین طیف ارتجاعی زلزله و طیف استاندارد می باشد، به این منظور ابتدا مربع اختلاف بین طیف انتخابی با یک ضریب مجهول γ و طیف هدف محاسبه می گردد و سپس در یک محدوده از زمان تناوب انتگرال گیری می کنیم و مشتق این اختلاف را برابر صفر قرار می دهیم تا این اختلاف مینیمم گردد.

$$|Difference| = \int_{T_B}^{T_A} [\gamma Sa(T)^{actual} - Sa(T)^{target}]^2 dt \quad (۳)$$

$$Min|Difference| \longrightarrow \left(\frac{d|Difference|}{dy} \right) = 0 \quad (۴)$$

به این ترتیب مقدار γ از رابطه زیر قابل تعیین خواهد بود:

$$\gamma = \frac{\sum_{T=TA}^{TB} [Sa(T)^{actual} \times Sa(T)^{target}]}{\sum_{T=TA}^{TB} (Sa(T)^{actual})^2} \quad (۵)$$

در رابطه اخیر γ ضریب مقیاس $Sa(T)^{Actual}$ طیف پاسخ شتاب رکورد زلزله، $Sa(T)^{target}$ طیف پاسخ شتاب استاندارد TA و TB محدوده زمان تناوب مقیاس سازی را مشخص می نماید که در اینجا این محدوده $TA = 0.2 T$ در نظر گرفته شده است.

روش چهارم: آنالیز دینامیکی غیرخطی مقیاس شده در دستورالعمل FEMA 440 مقیاس سازی به گونه ای انجام می شود که تغییر مکان حداکثر مرکز جرم بام با تغییر مکان هدف تعیین شده از آنالیز Pushover مساوی گردد. در این روش حداکثر تغییر مکان ناشی از زلزله به روش آنالیز دینامیکی غیرخطی در تراز بام مشخص می شود و تغییر مکان هدف سازه نیز با استفاده از روشهای آنالیز استاتیکی غیرخطی و روشهای ارایه شده در FEMA-356 و ATC-40 و روابط اصلاح شده FEMA-440 قابل تعیین است. در واقع در این روش، مدل سازه ای تحت یک الگوی بار دینامیکی (به جای الگوی بار استاتیکی) قرار گرفته و میزان بار جانبی، تا رسیدن مرکز جرم بام به تغییر مکان هدف افزایش می یابد. بنابراین هر رکورد زلزله مقیاس شده، بیانگر الگوی بارگذاری دینامیکی متفاوتی می باشد.

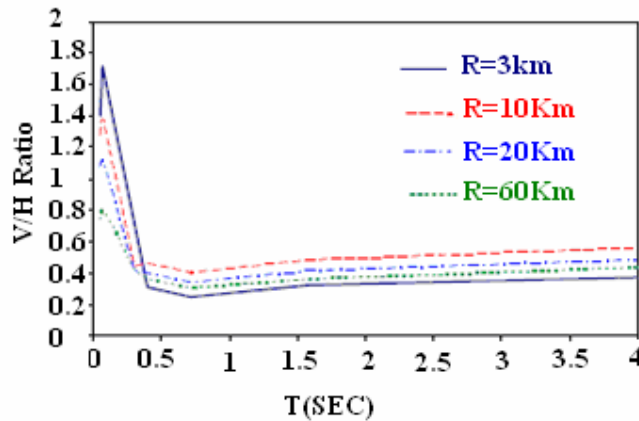
روش پنجم: مقیاس سازی آیین نامه ۲۸۰۰ ایران: در روش پیشنهادی آیین نامه ۲۸۰۰ ایران ویرایش سوم برای تحلیل تاریخیچه زمانی لازم است زوج شتاب نگاشت های انتخاب شده طی مراحل به روش زیر به مقیاس در آورده شوند:
الف- کلیه شتاب نگاشت ها به مقدار حداکثر خود مقیاس شوند. بدین معنی که حداکثر شتاب همه آنها برابر با شتاب ثقل g گردد.

ب- طیف پاسخ شتاب هر یک از زوج شتابنگاشتهای مقیاس شده با منظور کردن نسبت میرایی ۵ درصد تعیین گردد.
پ- طیفهای پاسخ هر زوج شتاب نگاشت با استفاده از روش جذر مجموع مربعات با یکدیگر ترکیب شده و یک طیف ترکیبی واحد برای هر زوج ساخته شود.

طیف های پاسخ ترکیبی سه زوج شتاب نگاشت، متوسط گیری شده و در محدوده زمان های تناوب $T/2$ و $5/3 T$ با طیف طرح استاندارد مقایسه می گردد. ضریب مقیاس آنچنان تعیین شود که در این محدوده مقادیر متوسط ها در هیچ حالت کمتر از $1/4$ برابر مقدار نظیر آن در طیف استاندارد نباشد. T زمان تناوب اصلی ساختمان است.
ث - ضریب مقیاس تعیین شده باید در شتاب نگاشت های مقیاس شده در بند (الف) ضرب شود و در تحلیل دینامیکی مورد استفاده قرار گیرد.

۱۱- اثر مولفه قائم زلزله

به طور کلی می توان گفت مولفه قائم زلزله در تحلیل توسط بسیاری از مهندسان در نظر گرفته نمی شود، زیرا اولاً مقدار آن کوچک می باشد، دوم خود سازه برای بار $1g$ که توسط بار های قائم به سازه اعمال می شود طرح می گردد و سوم معمولاً پیک شتاب قائم منطبق بر پیک مولفه افقی زلزله قرار ندارد و در یک فاز نیستند. در این حال مهندسی به عنوان یک قانون سر انگشتی که در آیین نامه UBC نیز آمده مولفه قائم را 0.66 مولفه افقی در نظر می گیرند. با این وجود در مناطق نزدیک منبع زلزله این تقریب صادق نمی باشد و ممکن است طیف پاسخ مولفه قائم از مولفه افقی بیشتر شود. در شکل (۲) نسبت حداقل مولفه قائم زلزله به مولفه افقی رسم شده است.



شکل ۲: نسبت حداقل مولفه قائم زلزله به مولفه افقی

از این نمودار کاملاً مشخص است که حداکثر نسبت پاسخ قائم به افقی در دوره تناوب بین ۰/۵ تا ۰/۱۵ ثانیه اتفاق می افتد که با افزایش دوره تناوب به شدت کاهش می یابد و برای دوره تناوب بالاتر از ۰/۳۳ ثانیه به کمتر از ۰/۵ کاهش می یابد. بنابراین نسبت ۰/۶۶ ذکر شده برای دوره تناوب های بالا منطقی به نظر نمی رسد و کمتر از آن است. به طور کلی به جز در تحلیل تاریخی زمانی غیر خطی که اثر مولفه به طور همزمان در نظر گرفته می شود. تاثیر مولفه قائم زلزله را می توان به صورت زیر گرفت که در آیین نامه ASCE07 نیز آمده است:

$$E = Q_E \pm 0.2S_{DS} D \quad (6)$$

در رابطه فوق QE نیروی اعضای ناشی از مولفه های افقی زلزله و 0.2SDSD نیروی ناشی از مولفه قائم زلزله است که SDS طیف شتاب طراحی برای دوره تناوب ۰,۲ ثانیه و D نیروی به وجود آمده در عضو تحت بار مرده است.

۱۲- بررسی مولفه های زلزله و همبستگی آنها

به طور کلی هر زلزله که به عنوان تابع ورودی به پی وارد می شود، دارای سه مولفه مستقل که مولفه های انتقالی آن می باشد و سه مولفه چرخشی است که از روی مولفه های انتقالی و ابعاد پی و یکسری مشخصات منطقه بدست می آید. این مولفه های چرخشی وابسته در موارد خاص مورد استفاده قرار می گیرند.

۱- همبستگی مولفه های زلزله و جهات اصلی

هر رکورد زلزله دارای جهات اصلی می باشد که مولفه های زلزله در آن راستاها از یکدیگر مستقل خواهند شد. اگر a_x, a_y, a_z به ترتیب دو مولفه افقی و قائم زلزله در راستای X, Y, Z باشند، می توان جهات اصلی را چنان تعیین کرد که همبستگی مولفه های آن از بین برود. ماتریس مجذور شدت زلزله را می توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{pmatrix} \quad (7)$$

که در آن σ_{ij} :

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{S} \int_0^S a_i(t) a_j(t) dt \quad (8)$$

و S مدت زمان زلزله است.

در این ماتریس آرایه غیر صفر بیانگر وجود همبستگی بین دو مولفه مربوط است. همبستگی دو مولفه به وسیله پارامتر ضریب همبستگی تعریف می شود که برابر است با:

$$\rho_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{(\sigma_{ii} \cdot \sigma_{jj})^{\frac{1}{2}}} \quad (9)$$

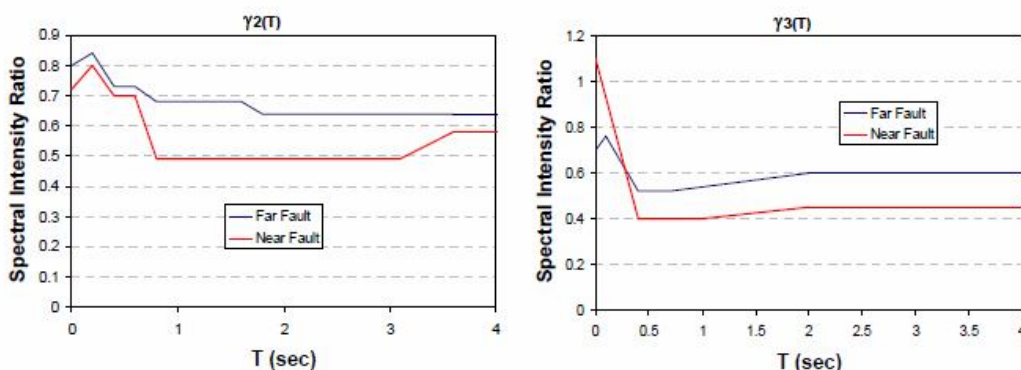
ضریب همبستگی بین صفر و یک متغیر است و ضریب ۱ به معنای همبستگی کامل دو مولفه می باشد، رابطه بین مولفه زلزله در جهات اصلی با جهات X,Y,Z به صورت زیر است :

$$\begin{Bmatrix} \alpha 1(t) \\ \alpha 2(t) \\ \alpha 3(t) \end{Bmatrix} = \Phi^T \begin{Bmatrix} \alpha x(t) \\ \alpha y(t) \\ \alpha z(t) \end{Bmatrix} \quad (10)$$

که در آن Φ ماتریس بردار های ویژه است .

۱۳- رابطه بین مولفه های زلزله

برای زلزله های طبیعی توسط محققین مختلف محور های اصلی بدست آمده و خصوصیات طیف پاسخ مولفه های محور های اصلی بدست آمد. در این حال اگر نسبت طیف پاسخ مولفه افقی مینیمم به مولفه افقی ماکزیمم را در هر زمان $\gamma 2$ و نسبت طیف پاسخ مولفه قائم (اگر چه این مولفه به طور کامل قائم نبوده و ممکن است زاویه صفر تا ۲۰ درجه را با محور قائم به وجود آورد) به مولفه افقی ماکزیمم $\gamma 3$ بنامیم، برای رکورد های نزدیک و دور از گسل می توان $\gamma 2$ و $\gamma 3$ را برحسب زمان تناوب مانند شکل ۳ رسم کرد. از نمودار ها مشخص است که مقدار $\gamma 2$ بین ۰/۵ و ۰/۸ و مقدار $\gamma 3$ بین ۰/۴ و ۱/۱ بسته به فاصله تا منبع زلزله تغییر می کند.



ب) مولفه افقی مینیمم

الف) مولفه قائم

شکل ۳: نسبت طیف مولفه های زلزله به مولفه ماکزیمم افقی، الف) مولفه قائم ، ب)مولفه افقی مینیمم

۱۴- اثر زاویه اعمال شتابنگاشت ها

همانطور که گفته شد، مولفه های انتقالی زلزله شامل دو مولفه افقی و یک مولفه قائم است که همانطور که در بخش های قبل گفته شد، می توان جهات اصلی را بری مولفه های زلزله تعیین کرد. براساس تحقیقات انجام شده، با استفاده از روش طیفی، پاسخ سازه تحت رکورد های زلزله در جهات اصلی آن منجر به پاسخ ماکزیمم سازه خواهد شد . با این حال برای تحلیل تاریخچه زمانی سازه تحت زلزله هنوز نتیجه قطعی برای زاویه بحرانی اعمال شتابنگاشت ها وجود ندارد، در عین حال بنا بر تحقیقات انجام گرفته زاویه بحرانی براساس یک شاخص خاص برای زلزله های مختلف متفاوت است و همچنین بر اساس یک زلزله خاص برای شاخص های مختلف خرابی نیز متفاوت خواهد بود. همچنین پاسخ ماکزیمم سازه بر اساس زاویه بحرانی می تواند به اندازه قابل توجهی بیشتر از اعمال شتابنگاشت ها در جهات اصلی باشد. با توجه به موارد فوق بهترین گزینه جهت تحلیل چند جهته سازه تحت رکورد های زلزله اعمال شتابنگاشت ها در زاویه های مختلف و تصمیم گیری در مورد ماکزیمم پاسخ سازه خواهد بود.

۱۵- نتیجه گیری

با توجه به مطالعات انجام شده می توان نتیجه گرفت که بحث تحلیل چند جهته هنوز جایگاه اصلی خود را در تحلیل و طراحی عملی سازه ها بدست نیاورده است و ضوابط آیین نامه ای در بسیاری موارد از جمله انتخاب رکورد های زلزله، مقیاس نمودن مولفه های رکورد زلزله، نحوه اعمال مولفه های شتاب به سازه، تحلیل های غیر خطی و تعریف شاخص های خرابی روش های یکسانی را ارائه نمی نمایند. تجربه و تحقیقات بیشتری در این زمینه برای رسیدن به راهکارهای جامع و کاربردی مورد نیاز است. براساس مطالعات صورت گرفته برای تحلیل چند جهته موارد زیر قابل توجه می باشند:

- ۱- در صورت وجود شتابنگاشت های حقیقی سازگار برای منطقه مورد نظر، استفاده از شتابنگاشت های موجود در تحلیل چند جهته در اغلب ضوابط توصیه می شود. در صورت عدم وجود شتابنگاشت های سازگاری با شرایط منطقه می توان از شتابنگاشت هایی که منطبق با طیف طراحی منطقه باشند استفاده کرد.
- ۲- استفاده از ضریب $1/4$ برابر طیف آیین نامه که در آیین نامه ۲۸۰۰ توصیه شده است، تا حدودی محافظه کارانه بوده و مقدار $1/3$ توصیه شده در آیین نامه های دیگر می تواند به نتایج واقعی تری منجر شود. استفاده از ضرایب محافظه کارانه موجب می شود که عملاً ضریب اطمینان موثر در تحلیل های تاریخچه زمانی که روش دقیق تری نسبت به روش های استاتیکی هستند بر خلاف منطق مهندسی بالاتر بوده و در نتیجه تمایل به استفاده از مزایای بالقوه این روش تضعیف می شود. انتظار می رود در ویرایش های بعدی آیین نامه این ناسازگاری به نحوی تعدیل شود.
- ۳- در مورد تحلیل چند جهته در ناحیه غیر خطی هنوز اتفاق نظر جامعی بین متخصصین به وجود نیامده و تحقیقات وسیعتر کاربردی در این زمینه لازم و ضروری به نظر می رسد.
- ۴- علیرغم مطالعات فراوان جهت محاسبه زاویه بحرانی مولفه های زلزله، هنوز نتیجه قطعی در این ارتباط وجود ندارد و بهتر است با تغییر زاویه اعمال مولفه های زلزله با بازه مناسب پاسخ ماکزیمم سازه، به طور مستقیم محاسبه شود.

• مراجع

- Nassar A., Krawinkler H. Seismic Demands for SDOF and MDOF Systems. John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No. 95, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, CA, 1991.
- Miranda E. Site-dependent strength-reduction factors. Journal of Structural Engineering (ASCE) 1993; 119: 3503-3519.
- Shome N., Cornell C., Bazzurro P., Carballo J. Earthquakes, records, and nonlinear responses. Earthquake Spectra 1998; 14: 469-500.
- Shome N., Cornell C. Normalization and scaling accelerograms for nonlinear structural analysis. Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Seattle, WA, 1998 (CD-ROM).
- Kurama Y.C., Farrow K.T. Ground motion scaling methods for different site conditions and structure characteristics. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2003; 32:2425-2450.
- Kurama Y.C., Farrow K.T. Ground motion scaling methods for different site conditions and structure characteristics. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2003; 32:2425-2450.
- Fahjan Y.M., Ozdemir Z., Keypour H. Procedures for real earthquake time histories scaling application to fit Iranian design spectra. 5th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering 1385
- آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله (۲۸۰۰-۸۵)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش سوم ۱۳۸۵ آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله.