

SID



ابزارهای
پژوهش



سرویس ترجمه
تخصصی



کارگاه های
آموزشی



بلاگ
مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری
STES



فیلم های
آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقالات ISI

آموزش مهارت های کاربردی
در تدوین و چاپ مقالات ISI



روش تحقیق کمی

روش تحقیق کمی



آموزش نرم افزار Word برای پژوهشگران

آموزش نرم افزار Word
برای پژوهشگران

بررسی اثر زلزله‌های چند مؤلفه‌ای بر روی سازه‌ها

علی دنلواز، استادیار و عضو هیات علمی دانشکده مهندسی عمران و نقشه‌برداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین A.Delnavaz@qiau.ac.ir
 سید عبدالوحید میرمعزی، کارشناس ارشد مدیریت اجرایی sav.mirmoezzi@yahoo.com

چکیده

اگر چه در طرح لرزه‌ای سازه‌ها، جهت حرکت زمین معمولاً در امتداد محورهای سازه در نظر گرفته می‌شود، ولی این مطلب مشخص شده است که برای اکثر نواحی لرزه خیز جهان زلزله می‌تواند در هر جهت افقی اتفاق بیفتد. این مطلب بررسی جهت‌های مختلف زلزله را که ممکن است موجب افزایش پاسخ دینامیکی سازه شود را لازم می‌کند.

بطور کلی می‌توان گفت که یک طرح سازه‌ای مناسب باید به گونه‌ای باشد که در آن سازه قادر به تحمل نیروی زلزله در تمام جهت‌های ممکن باشد. به این منظور معمولاً حرکت زمین به سه مؤلفه تجزیه می‌شود: دو مؤلفه افقی و یک مؤلفه عمودی. از حرکت دورانی زمین معمولاً صرف‌نظر می‌شود.

از آنجا که مرکز زلزله مشخص نمی‌باشد، لذا تعیین پاسخ سازه برای هر سیستم مختصات و طراحی سازه برای بزرگترین پاسخ لازم می‌باشد. مقدار پاسخ سازه بواسطه هر کدام از مؤلفه‌های زلزله معمولاً به وسیله روش طیف پاسخ تعیین می‌شود. در این روش، مودهای پاسخ برای هر طیف خاص در هر مؤلفه بدست آمده و با هم ترکیب می‌شوند تا پاسخ سازه مشخص شود. در حرکات چند مؤلفه‌ای باید پاسخ ناشی از مؤلفه‌های مختلف به نحوی با هم ترکیب شوند تا پاسخ کل بدست آید. رویه‌ای که توسط آیین‌نامه‌های طراحی حاضریه این منظور اختصاص یافته است پایه مفهومی دقیقی نداشته و رابطه بین مؤلفه‌های حرکت زمین را به خوبی در نظر نمی‌گیرد.

در تحقیق حاضر ضمن بررسی نکات ضعف قواعد ترکیبی حاضر برای تعیین پاسخ سازه تحت حرکات چند مؤلفه‌ای، یک روش ترکیبی جدید برای ترکیب نتایج پاسخ مودهای مختلف بر اساس کارهای انجام شده محققین مختلف ارائه می‌شود. روش پیشنهادی عملاً گسترش یافته روش CQC می‌باشد که برای ترکیب نتایج پاسخ مودهای مختلف سازه تحت حرکات یک مؤلفه‌ای استفاده می‌شود. در نهایت ضمن مقایسه این روش با روش‌های ترکیبی رایج، صحت این روش بر روی چند سازه با شکلهای مختلف بررسی می‌شود.

کلمات کلیدی: زلزله چند مؤلفه‌ای، روش ترکیب SRSS، روش ترکیب CQC

مقدمه

اکثر آیین‌نامه‌های حاضر که مسأله زلزله‌های چند مؤلفه‌ای را در نظر می‌گیرند ارتباط بین پاسخهای سازه تحت مؤلفه‌های مختلف زلزله رابه روش SRSS یا قاعده اعمال زلزله به صورت درصدی از هم در دو راستا منحصر می‌کنند. آیین‌نامه UBC97 هر دو روش SRSS و پخش زلزله بصورت ۱۰۰٪ و ۳۰٪ را برای سازه‌های با نامنظمی خاص لازم می‌داند. (ICBO, 1997) آیین‌نامه Caltrans در بحث طراحی پل قاعده ۳۰/۱۰۰ را برای هر نوع سازه‌ای لازم می‌داند. این آیین‌نامه اشاره‌ای به روش SRSS نمی‌کند استاندارد ASCE قاعده توزیع ۱۰۰٪، ۴۰٪ و

SRSS را پیشنهاد می‌کند. آیین‌نامه ATC-32 روش SRSS و قاعده ۱۰۰٪، ۴۰٪ را در تحلیل پلها لازم می‌داند. اگر R1، R2 و R3 به ترتیب بیانگر رفتار سازه تحت دو مؤلفه افقی و مؤلفه عمودی حرکت زمین باشند، در آنصورت پاسخ کل سازه (R) طبق روش SRSS بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R = (R_1^2 + R_2^2 + R_3^2)^{1/2} \quad (1)$$

فرض اصلی در این روش این است که مقادیر R1، R2 و R3 بصورت آماری مستقل از هم هستند. طبق نظریه Penzien و Watabe اگر مؤلفه‌های افقی وارد شده به سازه در جهت محور اصلی زلزله باشند، این روش صحیح است. هر چند در عمل جهت مؤلفه‌های زلزله با جهت محورهای فرضی سازه منطبق نمی‌باشند. در بعضی آیین‌نامه‌ها مانند Caltrans در طراحی پلها، جهت مؤلفه‌های زلزله بر اساس هندسه سازه تعیین می‌شوند. البته این جهت‌های فرضی ممکن است با جهت‌های اصلی زلزله تطابق نداشته باشند. در نتیجه مؤلفه‌های حرکت زمین که به سازه اعمال می‌شوند بطور کلی با هم همبستگی دارند.

روش توزیع درصدی بر مبنای کارهای انجام شده توسط Newmark و Rosenblueth (1977) و Contreras تبیین شده است. این روش میزان R را بصورت مجموع ۱۰۰٪ پاسخ تحت حرکت در یک جهت و α درصد پاسخ ناشی از زلزله در دو جهت دیگر تعیین می‌کند. ترکیبی که بحرانی‌ترین حالت را ایجاد کند در طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین سه حالت باید در نظر گرفت:

$$R = R_1 + \alpha R_2 + \alpha R_3 \quad (a-2)$$

$$R = \alpha R_1 + R_2 + \alpha R_3 \quad (b-2)$$

$$R = \alpha R_1 + \alpha R_2 + R_3 \quad (c-2)$$

برای داشتن حداقل خطا از مجموع سه فرمول خطی فوق، Rosenblueth و Contreras، α را ۳۰٪ پیشنهاد کردند. این مقدار در آیین‌نامه UBC97 (ICBO, 1997) و Caltrans 90 مورد استفاده قرار گرفته است. البته این دو آیین‌نامه فقط از فرمولهای (۲) و (۲-b) بدون در نظر گرفتن اثر αR3 استفاده می‌کنند. با این حال این آیین‌نامه‌ها تأکید می‌کنند که در مواردی که اثر مؤلفه قائم مهم است باید آنرا در نظر گرفت؛ هر چند روش مشخصی را برای ترکیب اثر مؤلفه قائم با دو مؤلفه دیگر معرفی نمی‌کنند (Newmark, 1975). α را برابر ۴۰٪ پیشنهاد کرد ضمن اینکه بر این مطلب هم تأکید داشت که نتایج این روش در مقایسه با روش SRSS محافظه‌کارانه‌تر است. این پیشنهاد توسط استاندارد

$$R^2 = \left[\sum_i \sum_j C_{ij} R_i^2 R_j^2 \right]^{1/2} \quad (۶)$$

$$R^3 = \left[\sum_i \sum_j C_{ij} R_i^3 R_j^3 \right]^{1/2} \quad (۷)$$

در روابط فوق C_{ij} ضریب همبستگی بین پاسخهای مودهای i و j است. از آنجا که مؤلفه‌های حرکت زمین با هم همبستگی ندارند پاسخ حداکثر (R) تحت اثر همزمان سه مؤلفه بصورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$R = \left[(R^1)^2 + (R^2)^2 + (R^3)^2 \right]^{1/2} \quad (۸)$$

از ترکیب معادلات (۳) تا (۸) پاسخ بیشینه R بصورت تابعی از θ به شکل زیر درمی‌آید:

$$R(\theta) = \left\{ \left[(R^{1x})^2 + (R^{2y})^2 \right] \cos^2 \theta + \left[(R^{1y})^2 + (R^{2x})^2 \right] \sin^2 \theta + 2 \sin \theta \cos \theta \left[\sum_i \sum_j C_{ij} R_i^{1x} R_j^{1y} - \sum_i \sum_j C_{ij} R_i^{2x} R_j^{2y} \right] + (R^3)^2 \right\}^{0.5} \quad (۹)$$

$$R^{1x} = \left\{ \sum_i \sum_j C_{ij} R_i^{1x} R_j^{1x} \right\}^{1/2} \quad (۱۰)$$

$$R^{1y} = \left\{ \sum_i \sum_j C_{ij} R_i^{1y} R_j^{1y} \right\}^{1/2} \quad (۱۱)$$

$$R^{2x} = \left\{ \sum_i \sum_j C_{ij} R_i^{2x} R_j^{2x} \right\}^{1/2} \quad (۱۲)$$

$$R^{2y} = \left\{ \sum_i \sum_j C_{ij} R_i^{2y} R_j^{2y} \right\}^{1/2} \quad (۱۳)$$

تابع $R(\theta)$ تغییرات پاسخ بیشینه را نسبت به زاویه برخورد θ و مؤلفه افقی زمین نشان می‌دهد. در حالی که $\theta = 0$ است و هر سه طیف زلزله در امتداد محورهای مرجع X و Y اعمال می‌شوند، حداکثر پاسخ از روی فرمول SRSS بدست می‌آید:

$$R = \left[(R^{1x})^2 + (R^{2y})^2 + (R^3)^2 \right]^{1/2} \quad (۱۴)$$

زاویه بحرانی

زاویه بحرانی θ بصورت مقدار θ ای تعریف می‌شود که حداکثر مقدار R را در معادله (۹) بدست می‌دهد. با مشتق گیری از معادله (۹) نسبت به θ و مساوی صفر قرار دادن آن نتیجه می‌شود:

$$\theta_{cr} = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left\{ \frac{2 \sum_i \sum_j C_{ij} [R_i^{2y} R_j^{2x} - R_i^{1x} R_j^{1y}]}{(R^{1y})^2 + (R^{2x})^2 - (R^{1x})^2 - (R^{2y})^2} \right\} \quad (۱۵)$$

نتایج مبنای استاندارد ATC-32 نیز قرار گرفته است.

هدف از مقاله حاضر بررسی نکات ضعف قواعد ترکیبی حاضر برای تعیین پاسخ سازه تحت حرکات چند مؤلفه‌ای و پیشنهاد یک روش ترکیبی جدید برای ترکیب نتایج پاسخ مودهای مختلف با پایه تئوری دقیق می‌باشد. روش پیشنهادی در ابتدا توسط Smoby و (Der Kiureghion 1985) ارائه شد و عملاً گسترش یافته روش CQC بود که برای ترکیب نتایج پاسخ مودهای مختلف سازه تحت حرکات یک مؤلفه‌ای استفاده می‌شود که در این مقاله از آن به عنوان CQC3 نام برده می‌شود از نویسندگان محترم دعوت می‌شود که این شیوه نامه را در هنگام تهیه مقاله دقیقاً رعایت نمایند، اطمینان داریم که جناب عالی هم این دقت‌ها را در راستای افزایش کیفیت لازم می‌دانید. پس از باز کردن این دستورالعمل شما به راحتی می‌توانید با بازنویسی بر روی هر بخش مقاله خود را مطابق فرمت همایش تهیه نمایید.

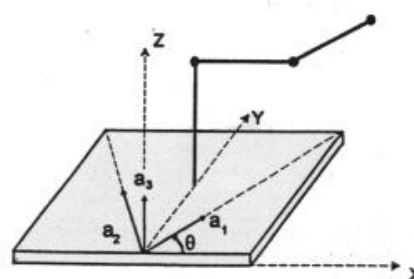
روش CQC3 برای ترکیب پاسخ مؤلفه‌های زلزله

شکل ۱ یک سازه را نشان می‌دهد که بطور همزمان تحت تأثیر دو مؤلفه افقی و یک مؤلفه عمودی در جهت ۳ یا Z قرار گرفته است. فرض کنیم S_{a1} ، S_{a2} و S_{a3} به ترتیب طیف پاسخ شتاب برای مؤلفه های a_1 ، a_2 و a_3 باشند. با فرض یک سیستم الاستیک خطی و میرایی ویسکوز، می‌توان از روش تحلیل طیفی برای تعیین پاسخ سازه استفاده کرد. فرض کنیم R پاسخ دینامیکی بیشینه سازه (Peak Response) تحت اثر همزمان ۳ طیف باشد. R می‌تواند هر کدام از پارامترهای تغییر مکان، تنش یا نیرو باشد. برای طیف S_{a1} پاسخ مودال R_i^1 در i امین مود ارتعاشی می‌تواند بصورت زیر نوشته شود:

$$R_i^1 = R_i^{1x} \cos \theta + R_i^{1y} \sin \theta \quad (۳)$$

$$R_i^2 = R_i^{2x} \cos \theta - R_i^{2y} \sin \theta \quad (۴)$$

که R_i^{1x} و R_i^{1y} و R_i^{2x} و R_i^{2y} به ترتیب پاسخ مودال حداکثر محاسبه شده هستند هنگامی که S_{a1} و S_{a2} در امتداد محورهای مرجع سازه (X و Y) عمل می‌کند. و بالاخره R^3 نیز حداکثر پاسخ مودال در مود i ام است هنگامی که طیف S_{a3} در امتداد محور Z عمل می‌کند.

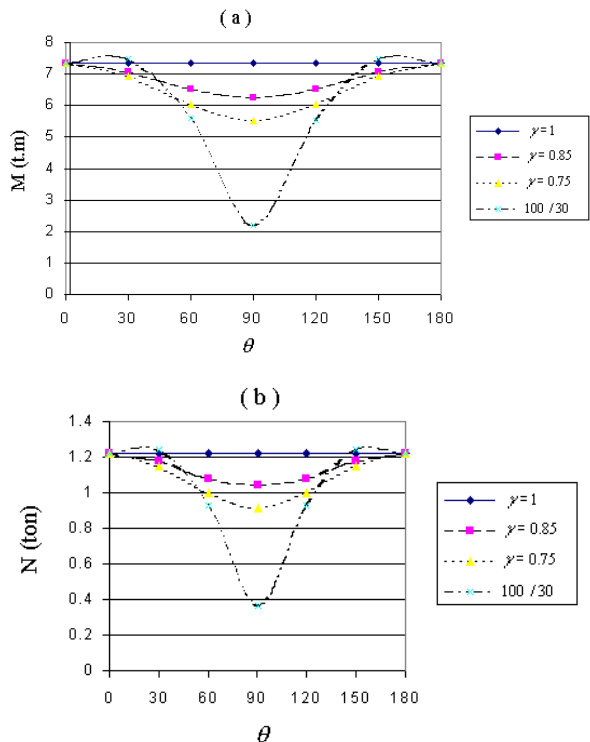


شکل ۱: سازه تحت دو طیف افقی با زاویه دلخواه و طیف عمودی

پاسخ حداکثر که بواسطه مؤلفه‌های ۱، ۲ و ۳ ایجاد شده است از ترکیب پاسخهای مودی با در نظر گرفتن همبستگی مودها بصورت زیر بدست می‌آید:

$$R^1 = \left[\sum_i \sum_j C_{ij} R_i^1 R_j^1 \right]^{1/2} \quad (۵)$$

خمشی و حداکثر بار محوری را در زاویه حدود ۳۰ درجه بدست می‌دهد. در حالی که از روش SRSS زاویه بحرانی صفر درجه بدست می‌آید. در روش ۳۰/۱۰۰ بار محوری و لنگر خمشی حداکثر تا حدی بیشتر از روش SRSS است.



شکل ۳: (a) تغییرات لنگر خمشی نسبت به زاویه theta در دو روش SRSS و ۳۰/۱۰۰، (b) تغییرات بار محوری نسبت به زاویه theta در دو روش SRSS و ۳۰/۱۰۰

مشاهده می‌شود که با تغییرات نسبت طیفها در دو راستا (gamma) پاسخ حداکثر روش SRSS تغییر نمی‌کند و این مقدار برای هر سه حالت ۱، ۰/۸۵، ۰/۷۵ و gamma = ۰/۷۵، برای لنگر خمشی برابر ۳۵/۷ ton.m و برای بار محوری ۱۲۲ ton می‌باشد که علت آنرا می‌توان در عدم تأثیر مؤلفه دوم زلزله در پاسخ حداکثر جهت X دانست. به عبارت دیگر می‌توان چنین گفت که در سازه‌های با تقارن کامل شعاعی، جهت بحرانی زلزله در امتداد شعاع بوده و به نسبت طیفهای زلزله بستگی ندارد.

از تحلیل سازه با اعمال طیف زلزله به طور جداگانه در جهت X و Y مقادیر R^{1x} و R^{1y} برای نیروی محوری و لنگر خمشی بصورت زیر بدست می‌آید:
لنگر خمشی R^{1x} = 7.35 ton.m, R^{1y} = 0, R^{1xy} = 0
بار محوری R^{1x} = 1.22 t, R^{1y} = 0, R^{1xy} = 0

با جایگذاری روابط فوق در معادله (۱۵)، theta_{cr} برای هر دو مورد لنگر خمشی و بار محوری صفر بدست می‌آید. با جایگذاری theta_{cr} در رابطه (۱۶)، مقادیر نیروی محوری حداکثر و لنگر خمشی حداکثر به ترتیب ۱/۲۲ تن و ۷/۳۵ متر.متر بدست می‌آید.

مثال ۲: در این مثال یک سازه مستطیلی با نسبت طول به عرض ۱۰ مطابق شکل (۴) مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سازه دارای اسکلت بتنی است. بار مرده به اضافه ۲۰٪ بار زنده برابر ۱۰۰ تن فرض می‌شود. با توجه به عدم تأثیر مؤلفه قائم زلزله در روی پاسخ بحرانی و همچنین زاویه بحرانی، از آن صرفنظر شده است. شرایط بارگذاری لرزه‌ای مشابه مثال اول است.

حالت کاربردی مؤلفه افقی با شکل طیف یکسان و طیف قائم دلخواه فرض کنیم که بین طیفهای افقی رابطه زیر برقرار باشد:

$$Sa_2 = \gamma Sa_1$$

که gamma به عنوان نسبت طیف افقی زلزله شناخته می‌شود در این حالت پاسخ حداکثر R بصورت تابعی از زاویه تلاقی به شکل زیر درمی‌آید:

$$R = \sqrt{\left[\left[(R^{1x})^2 + (\gamma R^{1y})^2 \right] \cos^2 \theta + \left[(\gamma R^{1x})^2 + (R^{1y})^2 \right] \sin^2 \theta \right] + 2 \sin \theta \cos \theta (1 - \gamma^2) \sum_i \sum_j C_{ij} R^{1x}_i R^{1y}_j + (R^3)^2} \quad (16)$$

معادله ۱۶ را می‌توان بصورت زیر نیز مرتب کرد:

$$R = \left\{ \left[(R^{1x})^2 + (R^{1y})^2 + (R^3)^2 \right] + (1 - \gamma^2) \times \left[(R^{1x})^2 - \frac{1}{\gamma} (R^{1y})^2 \right] \sin^2 \theta + 2 \frac{(1 - \gamma^2)}{\gamma} R^{1xy} \sin \theta \cos \theta \right\}^{1/2} \quad (17)$$

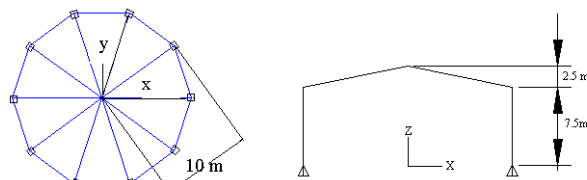
معادله (۱۷) دارای سه ترم مجزا است: ترم اول بیانگر قاعده SRSS است و ترم دوم و سوم که شامل زاویه theta می‌شوند بیانگر این حقیقت هستند که جهت‌های اصلی حرکت زمین و سازه در حالت کلی بر هم منطبق نیستند. میزان مشارکت و همبستگی مؤلفه‌های مختلف حرکت زمین در این ترمها آمده است. R^{1xy} در معادله (۱۷) به عنوان یک ترم واسطه برای تعیین ارتباط بین R^{1x} و R^{1y} بوده و بصورت زیر تعریف می‌شود

$$R^{1xy} = \sum_i \sum_j C_{ij} R^{1x}_i R^{1y}_j \quad (18)$$

حل چند مثال

به منظور روشن تر شدن مطالب ارائه شده و بررسی مزایای هر روش، در این قسمت مثالهایی ارائه می‌شود.

مثال ۱: به منظور بررسی سازه‌های دارای تقارن شعاعی، در این مثال یک سازه استوانه‌ای مطابق شکل (۲) مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سازه دارای اسکلت فولادی است. بار مرده به اضافه بار زنده برابر ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع فرض می‌شود از اثر مؤلفه قائم زلزله صرفنظر شده است. سازه تحت طیف زلزله آیین‌نامه ۲۸۰۰ (ویرایش دوم) برای خاک نوع III قرار گرفته است. ضرایب A = 0.35 و R = 6 فرض شده‌اند.



شکل ۲: سازه مثال ۱

نمودار تغییرات نیروی محوری و لنگر خمشی نسبت به زاویه theta برای دو روش SRSS و ۳۰/۱۰۰ در شکل (۳-ا) و (۳-ب) رسم شده است. همانطور که در شکل (۳-ا) و (۳-ب) مشاهده می‌شود، روش ۳۰/۱۰۰ حداکثر لنگر

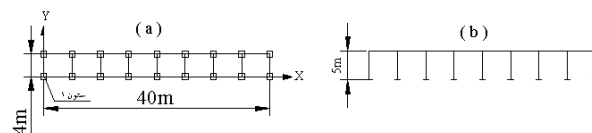
جمع بندی

از مجموع موارد ذکر شده، می توان چنین نتیجه گرفت که روش $40/100$ جوابهای محافظه کارانه تری را نسبت به سه روش $SRSS$ ، $CQC3$ و $30/100$ نتیجه می دهد. این مطلب در اکثر مواقع برای روش $30/100$ نیز صادق است. با این حال روش $SRSS$ جوابهای منطقی تری نسبت به روشهای توزیعی $30/100$ و $40/100$ بدست می دهد. این مطلب در مورد سازه های متقارن بیشتر مشاهده می شود و در هر سه روش $SRSS$ ، $100/40$ و $30/100$ انتخاب محورهای مناسب تأثیر زیادی در جوابها دارد. این مطلب در مورد سازه های نامتقارن محسوستر است.

عدم همبستگی پاسخهای سازه در جهتهای X و Y به مشخصات سازه در جهت X و Y بستگی دارد بطوری که هر چه رفتار سازه در جهت X و Y مستقل از هم باشد به صحت روش $SRSS$ نزدیکتر می شویم. در سازه های دارای تقارن شعاعی، جهت بحرانی در امتداد شعاع است. در این حالت نتایج روش $SRSS$ با نتایج روش $CQC3$ مطابقت دارد.

مراجع

- 1-Charles Menun and Aemen Der Kiureghian " A Replacement for the 30% , 40% , and SRSS Rules for Multicomponent Seismic Analysis ", Earthquake Spectra , Vol 14 , No 1 , February 1998
- 2-Oscar A. Lopez , Anil K. Chopra and Julio J. Hernandez " Critical Response of Structures to Multicomponent Earthquake Excitation "Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol 29, 1759-1778 (2000)
- 3-Oscar A. Lopez And Ronald Torres " The Critical Angle of Seismic Incidence and the Maximum Structural Response " Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol 26, 881-894 (1997)
- 4-Edward L. Wilson, Iqbal Suharwardy and Ashraf Habibullah "A Clarification of the Orthogonal Effects in a Three-Dimensional Seismic Analysis ", Earthquake Spectra , Vol 11 , No 4 , November 1995
- 5-Oscar A. Lopez And Ronald Torres "The Critical Angle of Seismic Incidence and the Maximum Structural Response "Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol 26, 881-894 (1997)
- 6-Clough, R. W. and Penzien, J., "Dynamics of Structures" McGraw-Hill, New York , 1993
- 7-B. Li, F. G. A. Al-Bermani and S. Kitipornchi "Maximum Response of Asymmetric Structures Subjected to a Multicomponent Earthquake "Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol 22 , 1047 – 1066 (1993)



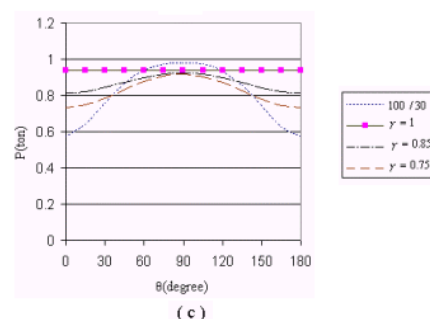
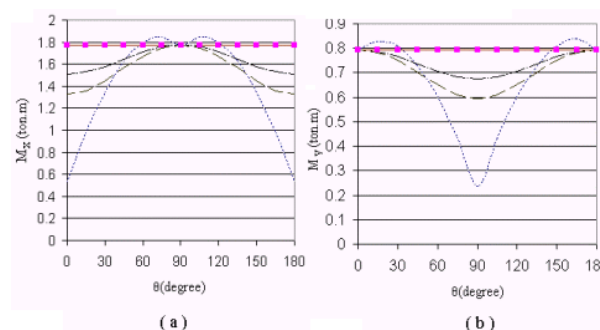
شکل ۴: سازه مثال ۲

نمودار تغییرات نیروی محوری و لنگر خمشی نسبت به زاویه θ برای دو روش $SRSS$ و $30/100$ در شکل (۵) رسم شده است. همانطور که در شکل (a-۵) تا (c-۵) مشاهده می شود، روش $100/30$ حداکثر لنگر خمشی را در زاویه حدود 75 درجه برای لنگر خمشی جهت X و در زاویه حدود 15 درجه برای لنگر خمشی جهت Y بدست می دهد. در حالی که از روش $SRSS$ زاویه بحرانی صفر یا نود درجه بدست می آید. نتایج حاصل از نمودارها نشان می دهد که با تغییرات نسبت زلزله در دو جهت (γ) پاسخ حداکثر تغییر نمی کند و برای هر سه حالت $0/75$ ، $0/85$ ، 1 پاسخ حداکثر با پاسخ $SRSS$ برابر است از تحلیل سازه با اعمال طیف زلزله به طور جداگانه در جهت X و Y مقادیر R^{1x} و R^{1y} برای نیروی محوری و لنگر خمشی بصورت زیر بدست می آید:

$$R^{1x} = 0 \text{ t.m}, R^{1y} = 1.77 \text{ t.m}, R^{1xy} = 0 \quad \text{لنگر خمشی } X$$

$$R^{1x} = 0.7946 \text{ t.m}, R^{1y} = 0, R^{1xy} = 0 \quad \text{لنگر خمشی } Y$$

با جایگذاری روابط فوق در معادله (۱۵)، برای دو مورد لنگر خمشی X و Y به ترتیب نود و صفر بدست می آید. با جایگذاری θ_{cr} در رابطه (۱۶)، مقادیر لنگر خمشی حداکثر در جهت X و Y به ترتیب $1/77$ تن.متر و $0/795$ تن.متر بدست می آید. در هر سه شکل مشاهده می شود که پاسخهای حداکثر و حداقل با هم نود درجه اختلاف دارند که صحت رابطه (۱۵) را نشان می دهد.



شکل ۵: a) تغییرات لنگر خمشی X نسبت به زاویه θ در دو روش $SRSS$ و $30/100$ ، b) تغییرات لنگر خمشی X نسبت به زاویه θ در دو روش $SRSS$ و $30/100$ ، c) تغییرات بار محوری نسبت به زاویه θ در دو روش $SRSS$ و $30/100$

SID



ابزارهای
پژوهش



سرویس ترجمه
تخصصی



کارگاه های
آموزشی



بلاگ
مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری
STES



فیلم های
آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



تازه های آموزش
آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقالات ISI

آموزش مهارت های کاربردی
در تدوین و چاپ مقالات ISI



تازه های آموزش
روش تحقیق کمی

روش تحقیق کمی



تازه های آموزش
آموزش نرم افزار Word برای پژوهشگران

آموزش نرم افزار Word
برای پژوهشگران