

پاسخ سه بعدی سازه‌ها تحت شش مؤلفه‌ای زلزله‌های نزدیک و دور از گسل

حمزه شکیب^{۱*}، مهدی علیرضایی^۲

۱- استاد گروه مهندسی سازه دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشجوی دکتری عمران، گرایش سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

shakib@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۷/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۴/۲۷

چکیده- از زمانی که مشخص شد مؤلفه‌های دورانی جنبش قوی زمین بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها اثرگذار است، توجه جدی محققین به این مؤلفه‌ها جلب شد. در این مطالعه یک روش توسعه‌یافته برای محاسبه تاریخچه زمانی مؤلفه‌های پیچشی و دورانی حرکت زمین، وابسته به سه مؤلفه انتقالی، ارائه می‌شود. در این مطالعه سه مؤلفه دورانی از مشتق مؤلفه‌های انتقالی و میزان سرعت موج برشی ساختمان به دست می‌آید. برای ایجاد مؤلفه‌های دورانی زمین‌لرزه هفت رکورد انتقالی دور و هفت رکورد نزدیک گسل انتخاب شده است. طیف پاسخ مؤلفه‌های دورانی نزدیک و دور از گسل از رکوردهای دورانی ایجاد شده به دست آمده است. سپس طیف‌های پاسخ دورانی نزدیک و دور از گسل مقایسه و ارزیابی شده است. همچنین آثار رکوردهای دورانی زمین‌لرزه بر پاسخ سازه تحت هر شش مؤلفه رکورد زلزله‌های نزدیک و دور از گسل، بر سیستم ایده‌آل شده اعمال و ارزیابی شد.

کلیدواژگان: مؤلفه‌های دورانی زلزله، نزدیک گسل، دور از گسل

۱- مقدمه

سیستم‌ها هنگام وقوع زمین‌لرزه همواره تحت تأثیر شش مؤلفه زلزله قرار می‌گیرند. در سازه‌های خاص لازم است آثار هر شش مؤلفه در طراحی لرزه‌ای آن‌ها لحاظ شود. مؤلفه چرخشی حرکت زمین می‌تواند آثار قابل ملاحظه‌ای بر پاسخ سازه‌ها ایجاد کند و پرداختن به این موضوع ویژگی‌های مؤلفه‌های چرخشی رکوردهای نزدیک به گسل را نمایان کند. مطالعات نشان می‌دهند که حین زلزله حتی سازه‌هایی که هندسه متقارن دارند نیز ممکن است که دچار

تحریکات پیچشی شوند [۱].

مؤلفه‌های دورانی جنبش شدید زمین در مقایسه با مؤلفه‌های انتقالی برای سالیان متمادی نادیده انگاشته می‌شد. به دلیل کوچک بودن دامنه این مؤلفه‌ها، دستگاه‌های لرزه‌نگاری استاندارد قادر به ثبت آنها نیست. مؤلفه‌های دورانی حرکات زمین (پیچشی و گهواره‌ای) از دو جنبه لرزه‌شناسی و مهندسی سازه اهمیت دارد. تحقیقاتی که به وسیله‌ی افرادی چون نیومارک، رزنبوت، سینگ، غفوری آشتیانی، درکورگیان، برترو، چوپرا، صادق وزیری و برمانی

انجام شده [۳-۵] نشان می‌دهد مؤلفه‌های دیگر زلزله در مقدار پاسخ سازه‌ها تأثیر زیادی دارند. اولین بار در سال ۱۹۶۹ میلادی نیومارک تأثیر مؤلفه دورانی حرکت زمین حین زلزله را بر پاسخ سازه بررسی کرد. در سال ۱۹۸۴ سینگ و آشتیانی تحقیقاتی انجام دادند. آن‌ها در مطالعات خود از روش نیومارک، روابطی را برای تعیین مؤلفه‌های چرخشی حرکت زمین بر حسب مشتق سوم مؤلفه‌های انتقالی، نسبت به زمان (شتاب آهنگ) و سرعت انتشار امواج به دست آوردند. در سال ۱۹۸۶، عشقی [۶] تحقیقاتی در مورد تحلیل دینامیکی سازه راکتور هسته‌ای بوشهر تحت اثر زلزله چند مؤلفه‌ای انجام داد. در روش‌های معمول طیفی، فرض می‌شود که سه مؤلفه انتقالی حرکت زمین که در امتداد محورهای سازه اعمال می‌شوند از نظر آماری غیرهمبسته (غیروابسته) است در حالی که سینگ و غفوری آشتیانی ثابت کردند که مؤلفه‌های حرکتی زمین لرزه همبستگی آماری دارند. در این مطالعه سعی می‌شود با استفاده از رکوردهای انتقالی زلزله‌های نزدیک و دور از گسل، مؤلفه‌های چرخشی آن‌ها ایجاد شده و ویژگی‌های این دو دسته از رکوردها نسبت به یک‌دیگر ارزیابی شود.

۲- ویژگی‌های زلزله‌های نزدیک گسل

در رکوردهای نزدیک گسل ویژگی‌هایی از قبیل شکل ضربه‌ای رکورد و بالا بودن مقدار بیشینه سرعت قابل مشاهده است [۷]. یکی از ویژگی‌های زلزله‌های نزدیک گسل فاصله از سرچشمه لرزه‌ای است که عموماً ۱۵ کیلومتر در نظر گرفته می‌شود و در مواردی به ۶۰ کیلومتر هم می‌رسد. در ناحیه نزدیک گسل، حرکات زمین به گونه‌ای قابل توجهی از عواملی مانند سازوکار گسیختگی، برای گسترش گسیختگی به سمت ساختگاه و احتمالاً جابه‌جایی دائمی زمین که از لغزش گسل منتج می‌شوند،

تأثیر می‌پذیرد. پارامترهای مذکور منجر به تأثیراتی می‌شود که به جهت‌پذیری گسیختگی و گام جهشی مشهور است. چنانچه انتشار گسیختگی و همچنین جهت لغزش گسل به سمت ساختگاه باشند، جهت پیشرو گسیختگی اتفاق می‌افتد. این پدیده به دلیل سرعت گسیختگی گسل است که عموماً نزدیک به سرعت موج برشی سنگ بستر نزدیک منبع (حدوداً ۸۰٪ سرعت برشی) است. برای سازوکار راستالغز، اگر گسیختگی از مرکز زلزله و به سمت جلو و عقب ساختگاه پیشروی کند، انرژی در جلو گسیختگی در ناحیه‌ای که لغزش در طول گسل پیشروی می‌کند، تجمع خواهد یافت. اگر ساختگاه نزدیک کانون زلزله باشد، انتشار گسیختگی و ورود امواج لرزه‌ای، به موقع به این سایت خواهد رسید. خصوصیات رکوردهای نزدیک گسل را می‌توان به صورت زیر بیان کرد [۲]:

- ✓ رکوردهای نزدیک گسل دارای مقادیر PGA و PGV بزرگ‌تری نسبت به رکوردهای دور از گسل است.
- ✓ حرکت ضربه گونه با پریود بلند در ابتدای رکورد مشاهده می‌شود که این امر در مؤلفه عمود بر گسل بهتر قابل مشاهده است.
- ✓ مقدار PGV برای مؤلفه عمود بر گسل بیشتر از این مقدار برای مؤلفه موازی گسل است (تقریباً دو برابر).
- مدت زمان (پریود) ضربه اصلی ممکن است حدود ۰/۵ تا ۵ ثانیه یا حتی بیشتر برای زلزله‌های با بزرگی زیاد باشد که البته به نوع، طول و مشخصات گسل نیز بستگی دارد.
- طول زیاد پریود ضربه به دو علت رخ می‌دهد؛ اول، تداخل فزاینده سازوکارهای دینامیکی تکان به سبب جهت گسیختگی گسل و دوم، وابستگی حرکت زمین به تغییر شکل‌های ماندگار آن. وابستگی جهتی این دو حالت نتیجه برگشت الاستیک در گسیختگی گسل است. به عبارت دیگر برای توصیف این پدیده می‌توان این‌طور بیان

۳- طیف طرح زلزله‌های نزدیک گسل

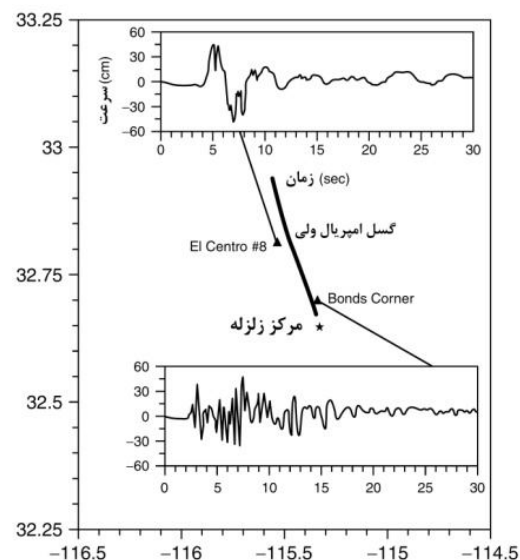
طیف‌های پاسخ برای مؤلفه‌های موازی و عمود بر گسل بسیار متفاوت است. نیازهای تغییر شکل و مقاومت مؤلفه عمود بر گسل بیشتر حرکات نزدیک گسل زمین، خیلی بزرگتر از مقادیر مربوط به مؤلفه موازی گسل می‌باشد [۸] و [۹]؛ زیرا مقادیر PGA، PGV و PGD بزرگ‌تری است، اگرچه ضرایب افزایش تحت این حرکات نسبت به مؤلفه موازی گسل، تفاوت چندانی ندارند. طیف‌های همپایه شده می‌تواند به عنوان ضریب افزایشی پاسخ تفسیر شود. برای مؤلفه عمود بر گسل، حرکات نزدیک گسل نسبت به مؤلفه موازی گسل این حرکات، عموماً کوچک‌ترند، هرچند طیف واقعی بزرگ‌تری دارد. طیف پاسخ در نمودار سه‌جانبه بر اساس روش نیومارک-ریدل رسم شده و بر این اساس طیف را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد. قسمت پریود بلند $T_n > T_d$ ، قسمت پریود کوتاه $T_n < T_d$ و قسمت میانی پریودی $T_c < T_n < T_d$ که به ترتیب معرف نواحی جابه‌جایی ثابت، شتاب ثابت و سرعت ثابت است. برای حرکات زمین، پریودهای T_a ، T_b ، T_c ، T_d و T_f در طیف نرمال شده، مستقل از میرایی است اما T_c و T_d با تغییر میرایی تغییر می‌کند (شکل ۲) و می‌توان نشان داد که:

$$T_c = 2 \times \pi \frac{\alpha_v \times \dot{u}_{g0}}{\alpha_a \times \ddot{u}_{g0}}, \quad T_d = 2 \times \pi \frac{\alpha_D \times u_{g0}}{\alpha_v \times \dot{u}_{g0}} \quad (1)$$

که α_a ، α_v و α_D به ترتیب ضرایب افزایش نواحی طیفی شتاب، سرعت و جابه‌جایی است. ناحیه سرعت ثابت زلزله نزدیک گسل خیلی باریک‌تر از زلزله دور از گسل و ناحیه شتاب ثابت و جابه‌جایی ثابت در مقایسه با زلزله‌های دور از گسل عریض‌تر است.

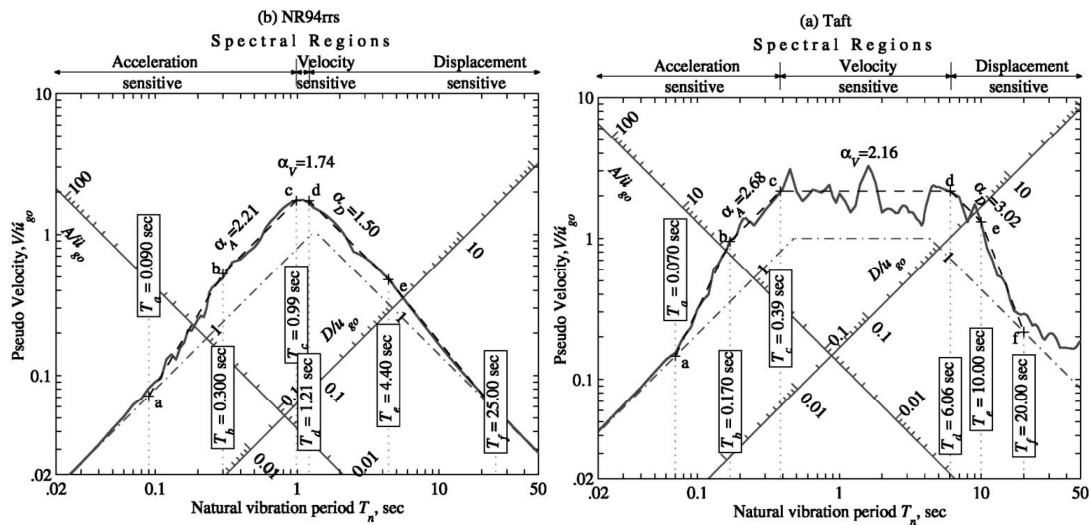
کرد که این عمل به علت حرکت خیلی سریع زمین حین زلزله ایجاد می‌شود [۹].

در حالتی که گسیختگی گسل نزدیک محل است، کم و بیش شاهد ثابت ماندن سرعت هستیم (تقریباً به بزرگی موج S)، بیشتر انرژی زلزله از گسیختگی گسل در یک فاصله زمانی کوتاه و در اوایل رکورد آزاد می‌شود. برای محل‌های نزدیک گسل که گسلش نرمال است، طیف شتاب نسبت به طیف شتاب ناشی از یک گسلش موازی بلندتر است. همچنین دامنه بسامد ثبت شده نیز به هندسه قرارگیری کانون زلزله و زاویه برخورد موج بستگی دارد. یک مثال روشن در این مورد رکورد ثبت شده در اکتبر ۱۹۷۹ در زلزله امپریال ولی کالیفرنیا است که در اثر یک منبع لرزه‌ای که گسلش به صورت افقی است، اتفاق افتاده است. در شکل ۱ دو رکورد ثبت شده که در جهات مختلفی نسبت به مسیر گسل قرار دارند همراه سرعت‌های ثبت شده از هر دو رکورد نشان داده شده است. دیده می‌شود که رکوردی که در مسیر گسیختگی گسل بوده، دارای نمودار سرعت با حرکات ضربه‌گونه بیشتری است [۷].



شکل (۱) ارتباط بین هندسه قرارگیری کانون زلزله و زاویه برخورد

موج [۱۷]



شکل (۲) طیف پاسخ برای مؤلفه عمود بر گسل در ایستگاه Taft (سمت راست) و Rinaldi (سمت چپ) برای میرایی ۵٪ [۱۰]

دلیل این‌که پریود T_c تحت حرکات نزدیک گسل بزرگ‌تر از مقدار متناظر تحت حرکات دور از گسل است، افزایش نسبت $u_{g0}/\ddot{u}_{g0}$ تحت حرکات نزدیک گسل در قیاس با حرکات دور از گسل است. از طرفی پریود T_d حرکات نزدیک گسل کوچک‌تر از مقدار یادشده برای حرکات دور از گسل است و این به دلیل نسبت کوچک‌تر $u_{g0}/\ddot{u}_{g0}$ حرکات نزدیک گسل نسبت به حرکات دور از گسل است [۱۰]. آن‌چه از مقادیر شتاب، سرعت و جابه‌جایی حرکات نزدیک گسل به دور از گسل مشهود است، این است که برای حرکات نزدیک گسل، مقادیر $u_{g0}/\ddot{u}_{g0}$ و $\ddot{u}_{g0}/\ddot{u}_{g0}$ بزرگ‌تر از مقادیر مشابه تحت حرکات دور از گسل است.

۴- روش‌های ایجاد مؤلفه‌های چرخشی

در حال حاضر برای برآورد مؤلفه پیچشی جنبش زمین سه روش متفاوت وجود دارد. روش اول فرم تحلیلی است که با مدل‌سازی سیستم گسلش، مؤلفه دورانی در نقاط مختلف محاسبه می‌شود. از معایب این روش می‌توان به کنترل نشدن آن با زمین‌لرزه‌های واقعی اشاره کرد. روش دوم

استفاده از داده‌های شبکه‌های شتاب‌نگاری متراکم است. در این روش، روش تفاضلی استفاده می‌شود و لازم است شتاب‌نگارها در فواصل محدود جای‌گذاری شوند. روش سوم استفاده از حس‌گرهای خاص و فناوری ابزارهای لیزری است که در چند سال اخیر پیشرفت‌هایی برای اندازه‌گیری مستقیم مؤلفه پیچشی حرکات زمین حاصل شده است. این ابزارها برای ثبت مؤلفه‌های دورانی و پارامترهای مختلف فاصله و بزرگا محدودیت دارند. نتایج حاصل از مطالعات شتاب‌نگاری بیانگر این است که مقادیر مؤلفه‌های دورانی حاصل از روش‌های تحلیلی کمتر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده در شبکه شتاب‌نگاری متراکم است. اما براساس مطالعات اخیر مقایسه بین مؤلفه‌های دورانی حاصل از اندازه‌گیری مستقیم با استفاده از رینگ لیزری و شبکه شتاب‌نگاری از تطابق بسیار خوب این دو حکایت دارد. شبکه شتاب‌نگاری متراکم دائم که فواصل بین شتاب‌نگارها در محدوده کوچکی متغیر است تا امکان بررسی تغییرات مکانی و محاسبه مؤلفه‌های دورانی از روابط تفاضلی را فراهم کند عمدتاً محدود به دو شبکه SMART در تایوان و Chiba در ژاپن است [۱۱].

واقع بر سطح زمین که تحت تأثیر امواج با مؤلفه‌های $u_{gx}(y-ct)$ و $u_{gy}(x-ct)$ قرار گرفته است، برابر دانسته و رابطه زیر را استخراج کرده است:

$$u_{g\theta} = 0.5 \left(\frac{\partial u_{gx}}{\partial y} - \frac{\partial u_{gy}}{\partial x} \right) \quad (2)$$

او همچنین برای محاسبه مقادیر بیشینه‌ی چرخش $(u_{g\theta})_0$ سرعت زاویه‌ای بیشینه‌ی $(\dot{u}_{g\theta})_0$ و شتاب زاویه‌ای بیشینه‌ی $(\ddot{u}_{g\theta})_0$ فرمول‌های زیر را به‌دست آورد:

$$(\dot{u}_{g\theta})_0 = \frac{\ddot{u}_{gy}}{c} \quad (u_{g\theta})_0 = \frac{\ddot{u}_{gx}}{c} \quad (3)$$

در روابط بالا c سرعت امواج در طول فنداسیون ساختمان است. در روشی که سینگ و آشتیانی برای تولید مؤلفه‌های دورانی استفاده کردند، فرض شد که سه مؤلفه حرکت در یک ساختگاه، ترکیبی از انواع امواج زلزله یعنی P و امواج برشی، امواج سطحی و مؤلفه‌های منعکس و شکسته آن‌ها است. امواج P غیر دورانی بوده ولی امواج دیگر می‌توانند باعث آثار دورانی شوند. آثار دورانی بستگی به جهت انتشار هم دارند. مثلاً اگر یک موج به‌طور قائم انتشار یابد حول محور قائم دورانی ایجاد نکرده ولی حول یک محور افقی دوران ایجاد می‌کند [۱۲]، [۱۳] و [۱۴].

$$\psi_k(t) = 0.5 \left(\frac{\partial X_j}{\partial x_i} - \frac{\partial X_i}{\partial x_j} \right) \quad (4)$$

که $\psi_k(t)$ چرخش حول محور k ، X_i و X_j جابه‌جایی در جهات i و j است. X_i ، X_j و X_k سه محور اصلی سیستم است. فرض می‌شود معادله زیر بیان ریاضی مناسبی برای حرکت زمین باشد.

$$X_i = A f \left(\sum_{j=1}^3 k_j X_j - \omega t \right) \quad (5)$$

در این رابطه k_j عدد موجی و ω فرکانس موج است. با

در صورتی که سازه نامتقارن باشد در این حالت مدهای پیچشی و جانبی به هم وابسته است که این حالت به خاطر فاصله بین مرکز جرم طبقات و مرکز سختی است. Ghayamghamian و Matosaka در سال ۲۰۰۳ آثار حرکات چرخشی را بر پاسخ سایت بررسی کردند. حرکات انتقالی ثبت‌شده به‌وسیله‌ی شتاب‌نگاشت‌ها در تراز فنداسیون ساختمان متناظر با متوسط حرکات زمین در تراز زیر فنداسیون است. چون در بسیاری از ساختمان‌ها سیستم فنداسیون سخت فرض می‌شود در نتیجه امکان ایجاد حرکات دلخواه در نقاط مختلف آن فراهم نیست. چوپرا یک روش ساده برای تعیین مؤلفه دورانی زلزله از مؤلفه‌های انتقالی زلزله پیشنهاد داد. در این روش اگر دو شتاب‌سنج به‌صورت موازی در اساس یک ساختمان با فنداسیون سخت قرار گیرد و شتاب‌های انتقالی a_{g1} و a_{g2} را ثبت کند، شتاب پیچشی ایجادشده در اساس به‌صورت $a_{g\theta}(t) = (a_{g1}(t) - a_{g2}(t))/d$ قابل محاسبه است. در رابطه اخیر d فاصله بین دو شتاب‌نگاشت مذکور است. اگر شتاب‌های افقی بر حسب m/sec^2 و d برحسب متر باشد، شتاب پیچشی بر حسب $a_{g1}(t)$ به‌دست می‌آید. Lallera , Chopra مقادیر شتاب پیچشی زمین را بر حسب شعاع ژیراسیون پلان مربعی به ابعاد 50×50 متر به‌صورت $\ddot{u}_{g\theta}$ در نظر گرفتند. مشاهده می‌شود که بیشینه‌ی شتاب پیچشی بیشتر در محدوده $0.1g$ تا $0.01g$ متغیر است. درحالی‌که دامنه تغییرات شتاب جانبی حدوداً $0.05g$ تا $0.35g$ است. شتاب پیچشی در مقایسه با شتاب انتقالی فرکانس بالاتری دارد. علاوه بر این، نسبت بین مقادیر بیشینه‌ی شتاب انتقالی و پیچشی برای دو رکورد مختلف، متفاوت خواهد بود. مقدار متوسط این نسبت برای ۳۰ رکورد مورد بررسی حدوداً ۲۰ درصد است. Newmark در مطالعه خود چرخش فنداسیون ساختمان را با چرخش به‌وجودآمده در یک المان کوچک

مشتق‌گیری از طرفین رابطه اخیر، معادلات زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{\partial X_i}{\partial x_j} = A_i k_j f' \quad (6)$$

$$\frac{dX_i}{dt} = -A_i \omega f' \quad (7)$$

با حذف f از دو رابطه بالا معادله زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\partial X_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{c_j} \frac{dX_i}{dt} \quad (8)$$

c_j سرعت امواج برشی منتشرشده در راستای x_j است که در حالت کلی ممکن است با سرعت امواج برشی در دیگر راستاها برابر نباشد. اگر سرعت موج برشی برای تمام راستاها یکسان فرض گردد رابطه زیر نتیجه می‌شود:

$$\ddot{\psi}_k(t) = -\frac{1}{2c_j} \frac{d}{dt} [\ddot{X}_j(t) - \ddot{X}_i(t)] \quad (9)$$

این رابطه تغییرات مؤلفه پیچشی را بر حسب مؤلفه‌های انتقالی زمین به دست می‌دهد.

$$\begin{aligned} \ddot{\psi}_1(t) &= -\frac{1}{2c} \frac{d}{dt} [\ddot{X}_3(t) - \ddot{X}_2(t)] \\ \ddot{\psi}_2(t) &= -\frac{1}{2c} \frac{d}{dt} [\ddot{X}_1(t) - \ddot{X}_3(t)] \\ \ddot{\psi}_3(t) &= -\frac{1}{2c} \frac{d}{dt} [\ddot{X}_2(t) - \ddot{X}_1(t)] \end{aligned} \quad (10)$$

روابط اخیر را به شکل ماتریس می‌توان نوشت [۱۲]:

$$\begin{Bmatrix} \ddot{\psi}_1 \\ \ddot{\psi}_2 \\ \ddot{\psi}_3 \end{Bmatrix} = -\frac{1}{2c} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{X}_1 \\ \ddot{X}_2 \\ \ddot{X}_3 \end{Bmatrix} \quad (11)$$

در سال ۱۳۷۶، ضیاتوحیدی با استفاده از رابطه ۹ به بررسی مؤلفه پیچشی زلزله در پاسخ ساختمان‌های نامتقارن پرداختند [۱]. ایشان نتیجه گرفت که مؤلفه پیچشی می‌تواند تأثیر کاهنده و یا افزایشده بر پاسخ سازه داشته باشد. بر مانی

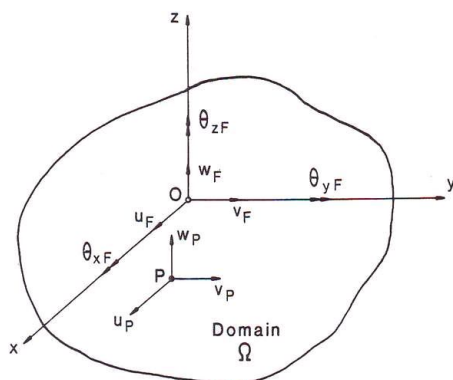
[۱۵] نیز روشی ارائه کرد که برای به دست آوردن شتاب دورانی زمین‌لرزه روی شالوده با توجه به ابعاد شالوده، سرعت انتشار امواج و سه مؤلفه انتقالی شتاب زمین‌لرزه استفاده می‌شود. شکل ۳ طرح یک انتشار موج زمین‌لرزه با زاویه ϕ و یک جبهه موج به فاصله ρ از مبدأ مختصات O را نشان می‌دهد. همبستگی بین میدان آزاد حرکت زمین $U_f(x, y, t)$ با داده‌های حرکت زمین در مبدأ مختصات $U_0(t)$ به ρ بستگی دارد.

$$\rho = Y \sin \phi + X \cos \phi \quad (12)$$

همچنین سه مؤلفه U_f بر حسب اختلاف فاز به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$\begin{aligned} u_f(x, y, t) &= \tilde{u}_0 \left(t - \frac{\rho}{C_h} \right) \\ v_f(x, y, t) &= \tilde{v}_0 \left(t - \frac{\rho}{C_h} \right) \\ w_f(x, y, t) &= \tilde{w}_0 \left(t - \frac{\rho}{C_v} \right) \end{aligned} \quad (13)$$

که C_v و C_h سرعت‌های مؤلفه‌های افقی حرکت قائم است. سرعت و شتاب میدان آزاد U_f و $\ddot{U}_f$ بر حسب $\ddot{U}_0$ و $\ddot{U}_0$ از رابطه ۱۳ حرکت زمین در مبدأ مختصات می‌تواند از رکورد زلزله تعیین شود.



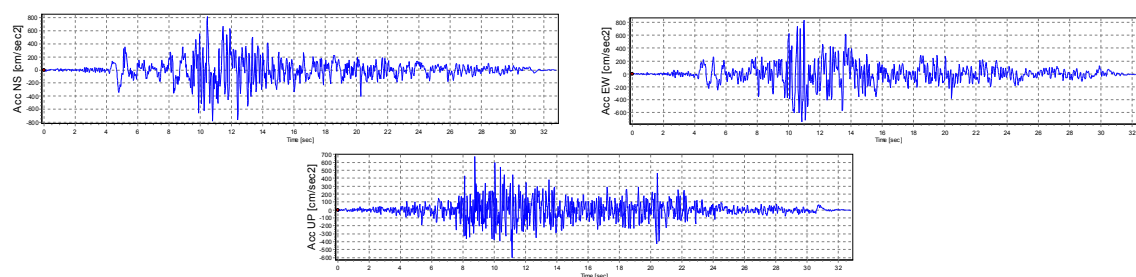
شکل (۳) نمایش میدان آزاد حرکت زمین [۳]

جدول (۱) خصوصیات و مشخصات رکوردهای نزدیک گسل منظور شده

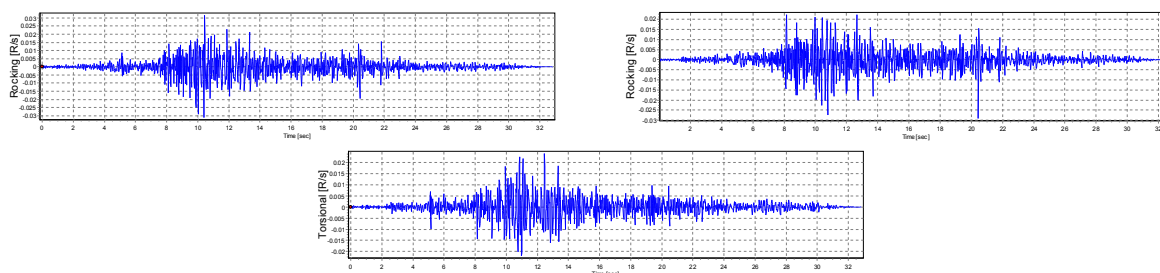
نوع خاک	$\frac{\dot{u}_g}{\ddot{u}_g}$	$\frac{\ddot{u}_g}{\ddot{u}_g}$	PGD (cm)	PGV (cm/s)	PGA (g)	موقعه	فاصله بر حسب کیلومتر	سال	زلزله
USGS (B)	۰/۳۹۵	۰/۱۱۹	۳۸/۶۶	۹۷/۷۵	۰/۸۳۵	TAB-LN	۳/۰	۱۹۷۸	TABAS
	۰/۷۹۲	۰/۱۴۵	۹۶/۰۶	۱۲۱/۲۲	۰/۸۵۱	TAB-TR			
	۰/۳۶۹	۰/۰۶۵	۱۶/۴۰	۴۴/۴	۰/۶۸۸	TAB-UP			
USGS (B)	۰/۳۷۲	۰/۱۱۹	۱۵/۰۸	۴۰/۴۳	۰/۳۴۴	ARL090	۹/۲	۱۹۹۴	Northridge
	۰/۴۶۰	۰/۰۷۶	۱۰/۶۵	۲۳/۱۳	۰/۳۰۸	ARL360			
	۰/۴۸۶	۰/۰۳۲	۸/۶۲	۱۷/۷۱	۰/۵۵۲	ARL-UP			
USGS(B)	۰/۱۷۷	۰/۰۶۱	۳/۸۱	۲۱/۴۷	۰/۳۵۷	TMB205	۹/۹	۱۹۶۶	Parkfield
	۰/۲۲۵	۰/۰۵۶	۳/۳۸	۱۵/۰۰	۰/۲۷۱	TMB295			
	۰/۲۵۴	۰/۰۳۲	۱/۱۱	۴/۳۷	۰/۱۳۶	TMBDWN			
USGS (B)	۰/۱۳۱	۰/۶۶۱	۰/۳۹	۱۴/۲۰	۰/۱۱۰	1058-E	۱	۱۹۹۹	Duzce
	۰/۱۹۰	۰/۹۴۲	۱۲/۱۳	۱۳/۴۶	۰/۰۷۲	1058-N			
	۰/۲۴۴	۰/۶۹۳	۱۱/۶۶	۱۶/۸۲	۰/۰۷۰	1058-V			
USGS (B)	۰/۱۰۱	۰/۲۱۸	۱۷/۶۹	۸۱/۳۰	۰/۸۲۱	KJM000	۰/۶	۱۹۹۵	Kobe
	۰/۱۲۷	۰/۲۶۹	۱۹/۹۷	۷۴/۳۵	۰/۵۹۸	KJM090			
	۰/۱۱۴	۰/۲۶۹	۱۰/۲۹	۳۸/۳۱	۰/۳۴۲	KJM-UP			
USGS (B)	۰/۰۵۲	۰/۲۱۵	۲/۴۵	۱۱/۴	۰/۲۲۲	G06000	۱۱/۸	۱۹۸۴	Morgan Hill
	۰/۱۲۸	۰/۱۶۷	۶/۱۳	۳۶/۶۸	۰/۲۹۲	G06090			
	۰/۰۳۵	۰/۱۳۳	۱/۸۶	۱۴/۰۳	۰/۴۰۵	G06-UP			
USGS (B)	۰/۱۰۲	۰/۳۴۷	۹/۵۳۸	۲۷/۴۵	۰/۲۷۳	JOS000	۱۱/۶	۱۹۹۲	Landers
	۰/۱۵۵	۰/۳۳۳	۱۴/۳۲	۴۳/۰۵	۰/۲۸۴	JOS090			
	۰/۰۸۴	۰/۵۹۴	۸/۸۸	۱۴/۹۴	۰/۱۸۱	JOS-UP			

جدول (۲) خصوصیات و مشخصات رکوردهای دور از گسل منظور شده

نوع خاک	$\frac{\dot{u}_g}{\ddot{u}_g}$	$\frac{\ddot{u}_g}{\ddot{u}_g}$	PGD (cm)	PGV (cm/s)	PGA (g)	موقعه	فاصله بر حسب کیلومتر	سال	زلزله
USGS (B)	۱/۴۱۱	۰/۰۸۱	۱۰/۶۷	۷/۵۶۱	۰/۰۹۴	BAJ-L1	۱۲۱/۲	۱۹۷۸	TABAS
	۱/۸۱۲	۰/۰۸۷	۱۰/۳۴	۵/۷۰۵	۰/۰۶۷	BAJ-T1			
	۱/۰۹۱	۰/۲۰۰	۶/۲۱۰	۵/۶۹۰	۰/۰۲۹	BAJ-V1			
USGS (B)	۰/۳۲۵	۰/۱۰۱	۱/۳۲۲	۴/۰۶۳	۰/۰۴۱	NBI000	۸۷/۶	۱۹۹۴	Northridge
	۰/۲۵۷	۰/۰۸۸	۱/۳۲۳	۵/۱۵۲	۰/۰۶۰	NBI090			
	۰/۳۲۵	۰/۱۳۷	۰/۷۴۲	۲/۲۸۲	۰/۰۱۷	NBI-UP			
USGS(B)	۰/۷۷۱	۰/۱۱۹	۴/۷۵۵	۶/۱۷۱	۰/۰۵۳	MCD000	۶۲/۳	۱۹۶۶	Kocaeli
	۱/۱۴۳	۰/۱۳۳	۱۰/۱۱	۸/۸۴۲	۰/۰۶۸	MCD090			
	۰/۷۴۸	۰/۲۲۸	۴/۶۷۷	۶/۲۵۴	۰/۰۲۸	MCD-V			
USGS (B)	۱/۲۰۰	۰/۳۴۵	۳/۲۵۰	۲/۷۰۸	۰/۰۰۸	ARC000	۱۳۵/۷	۱۹۹۹	Duzce
	۱/۲۵۹	۰/۳۱۴	۳/۱۰۵	۲/۴۶۶	۰/۰۰۸	ARC270			
	۰/۹۵۲	۰/۴۰۸	۲/۲۸۳	۲/۳۹۹	۰/۰۰۶	ARC-V			
USGS (B)	۰/۴۹۹	۰/۱۵۲	۱۱/۷۵	۲۳/۵۶	۰/۱۵۸	CHY074-N	۸۲/۴۹	۱۹۹۵	Chi-Chi
	۰/۶۶۷	۰/۱۲۳	۱۹/۰۴	۲۸/۱۴	۰/۲۳۴	CHY074-W			
	۰/۶۰۴	۰/۱۶۹	۹/۴۰۴	۱۵/۵۷	۰/۰۹۴	CHY074-V			
USGS (B)	۰/۳۰۰	۰/۱۶۶	۱۱/۴۲	۳۸/۰۵	۰/۲۳۳	GGB270	۸۵/۱	۱۹۸۴	Loma Prieta
	۰/۱۶۳	۰/۱۴۸	۲/۹۱۰	۱۷/۸۳	۰/۱۲۳	GGB360			
	۰/۳۳۶	۰/۲۱۰	۳/۸۰۷	۱۱/۳۳	۰/۰۵۵	GGB-UP			
USGS (B)	۰/۱۶۸	۰/۰۲۲	۰/۳۹۱	۲/۳۳۲	۰/۱۰۷	BAK050	۸۸/۵	۱۹۹۲	Landers
	۰/۱۸۰	۰/۰۲۷	۰/۴۹۴	۲/۷۵۱	۰/۱۰۵	BAK140			
	۰/۱۸۴	۰/۰۲۳	۰/۲۲۴	۱/۲۱۸	۰/۰۵۵	BAK-UP			



شکل (۴) الف- تاریخچه زمانی مؤلفه‌های انتقالی رکورد طیس



شکل (۴) ب- تاریخچه زمانی مؤلفه‌های دورانی رکورد طیس

ادامه بررسی می‌شود. برای ایجاد متغیرهای مورد نیاز لازم است در مشخصات سیستم تغییراتی داده شود. پارامترهای متغیر در این تحقیق، پریود طبیعی سیستم (T) و نسبت خروج از مرکزیت به بعد ساختمان (e_s/β) است که اثر هر یک از این پارامترها به‌طور جداگانه بررسی می‌شود.

رکوردهای انتخاب‌شده به‌وسیله‌ی روش ارائه‌شده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ مقیاس شده‌اند و برای مقیاس کردن مؤلفه قائم از طیف هدف ارائه‌شده در مرجع [۱۶] استفاده شده است.

تمام رکوردهای انتخاب‌شده روی خاک نوع II برداشت شده‌اند. هشت مدل ایده‌آل متقارن با دوره تناوب‌های ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۳ و ۴ ثانیه ایجاد شده است و با تولید مؤلفه‌های دورانی، به هر یک از مدل‌ها اعمال شده است. برای بررسی مدل‌های نامتقارن نیز دو مدل با نسبت خروج از مرکزیت به بعد ساختمان $e_s/\beta = 20\%$ و $e_s/\beta = 40\%$ ایجاد شده و رفتار سازه‌های نامتقارن نیز بررسی شده است.

تغییرات نیروی محوری در یکی از ستون‌های سازه متقارن در مقابل پریود طبیعی سازه از محدوده ۰/۲۵ تا ۴

۵- ایجاد شش مؤلفه‌ای رکوردهای نزدیک گسل

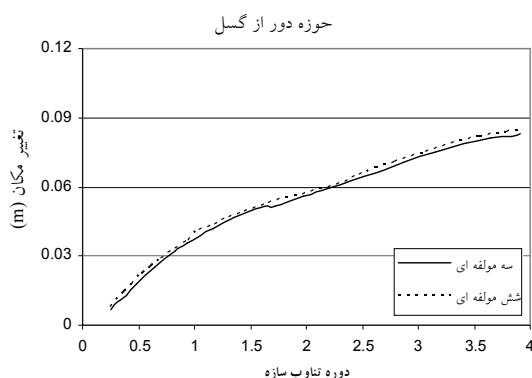
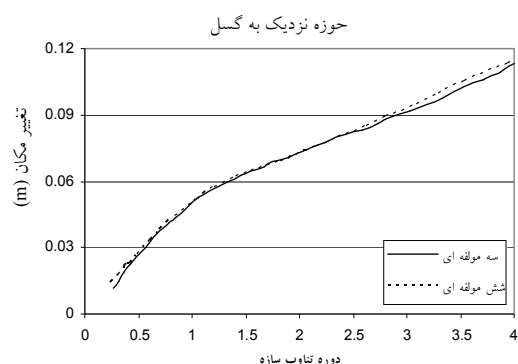
برای به‌دست آوردن مؤلفه‌های چرخشی از رکوردهای واقعی موجود، مطابق جدول زیر رکوردهای نزدیک و دور از گسل انتخاب شده‌اند.

با استفاده از رابطه ۱۱ برای هر یک از رکوردهای انتقالی موجود، مؤلفه‌های دورانی آن‌ها تولید شده‌اند. به‌عنوان مثال برای رکورد طیس، در شکل ۴ب مؤلفه‌های دورانی آن نشان داده شده است. در این شکل مؤلفه‌های دورانی رکورد طیس به‌عنوان نمونه ارائه شده است.

۶- پاسخ سازه‌های ایده‌آل شده به تحریک

شش مؤلفه‌ای

برای بررسی اثر مؤلفه‌های زلزله بر پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌ها، سازه‌هایی به‌صورت یک طبقه ایده‌آل شده به‌وسیله‌ی نرم‌افزار ANSYS مدل‌سازی شده‌اند. مدل حاضر تحت هفت شتاب‌نگاشت نزدیک و هفت شتاب‌نگاشت دور از گسل قرار داده شده است. پاسخ‌های به‌دست‌آمده در

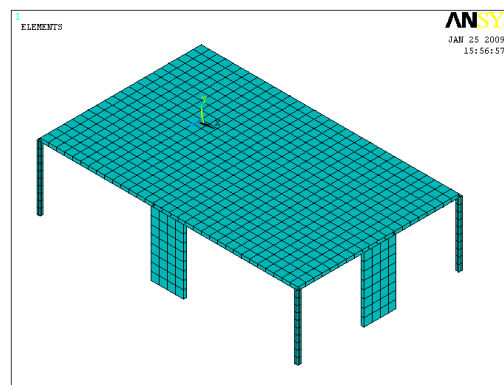


شکل (۷) تغییرات جابه‌جایی نسبت به تناوب سازه متقارن برای زلزله‌های حوزه نزدیک و دور

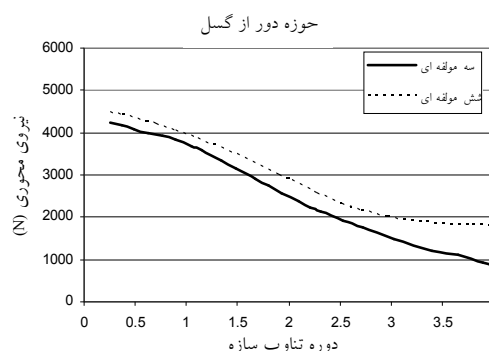
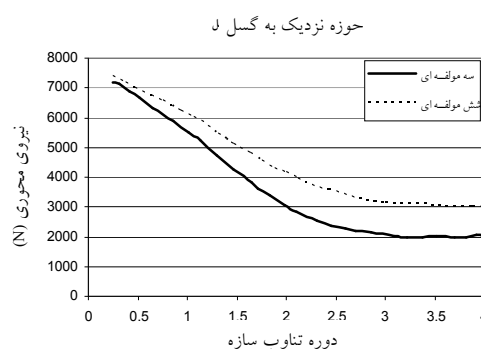
مشاهده می‌شود نیروی محوری ستون مورد بررسی شده در ساختمان متقارن در حالتی که رکورد نزدیک گسل اعمال شده است، در دو حالت شش مؤلفه‌ای و سه مؤلفه‌ای با افزایش، پریودکاهش می‌یابد و این شیوه تغییرات، منطقی به نظر می‌رسد. پاسخ شش مؤلفه‌ای کلیه پریودها نسبت به حالت سه مؤلفه‌ای افزایش نشان می‌دهد.

در شکل ۷ تغییرات جاب‌جایی سیستم در مقابل پریود طبیعی سازه از محدوده ۰/۲۵ تا ۴ ثانیه تحت گروهی از زلزله‌های نزدیک و دور از گسل ترسیم شده است. جابه‌جایی ارائه‌شده میانگین بیشینه‌ی گروه زلزله‌های انتخابی و بر حسب متر است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود جابه‌جایی بررسی شده در ساختمان متقارن در حالتی که رکورد نزدیک به گسل اعمال شده است، در دو

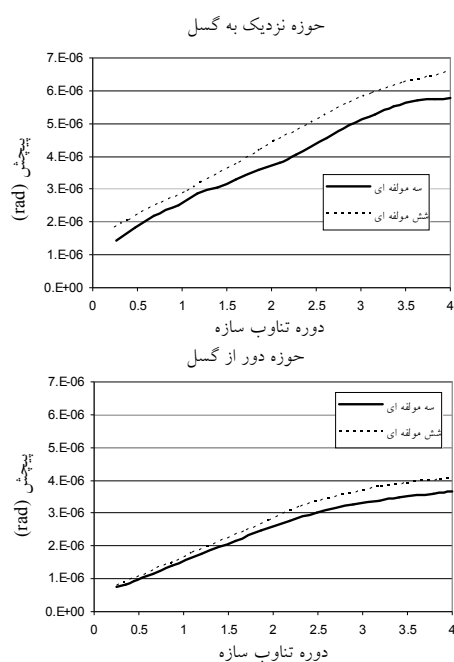
ثانیه تحت گروهی از زلزله‌های نزدیک و دور از گسل ترسیم شده است. نیروی محوری ارائه‌شده میانگین بیشینه‌ی گروه زلزله‌های انتخابی است. همان‌گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل (۸) مدل ایده‌آل ساخته‌شده

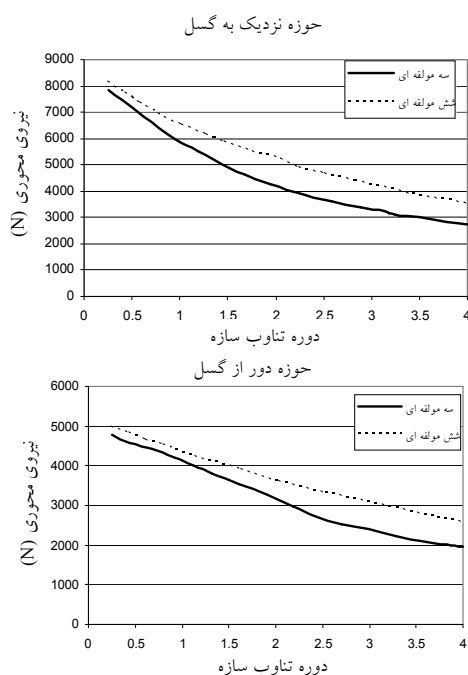


شکل (۹) تغییرات نیروی محوری نسبت به تناوب سازه متقارن برای زلزله‌های حوزه نزدیک و دور



شکل (۹) تغییرات پیکش نسبت به تناوب سازه نامتقارن برای

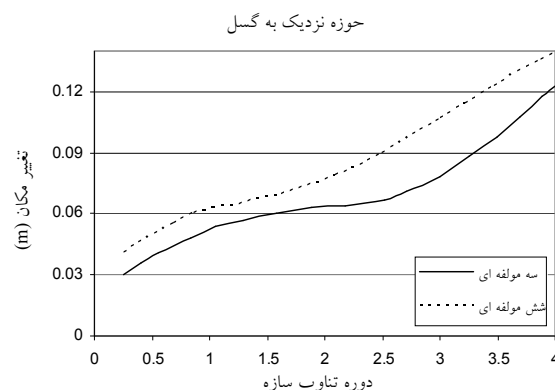
زلزله‌های حوزه نزدیک و دور $e_s / \beta = 20\%$



شکل (۱۰) تغییرات نیروی محوری نسبت به تناوب سازه نامتقارن

برای زلزله‌های حوزه نزدیک و دور $e_s / \beta = 20\%$

حالت شش مؤلفه‌ای و سه مؤلفه‌ای تقریباً یکسان است. پاسخ شش مؤلفه‌ای کلیه پیوندها نسبت به حالت سه مؤلفه‌ای افزایش اندکی را نشان می‌دهد. این افزایش در پاسخ‌های سیستم تحت رکوردهای نزدیک از تناوب $2/5$ ثانیه تقریباً ثابت می‌ماند.

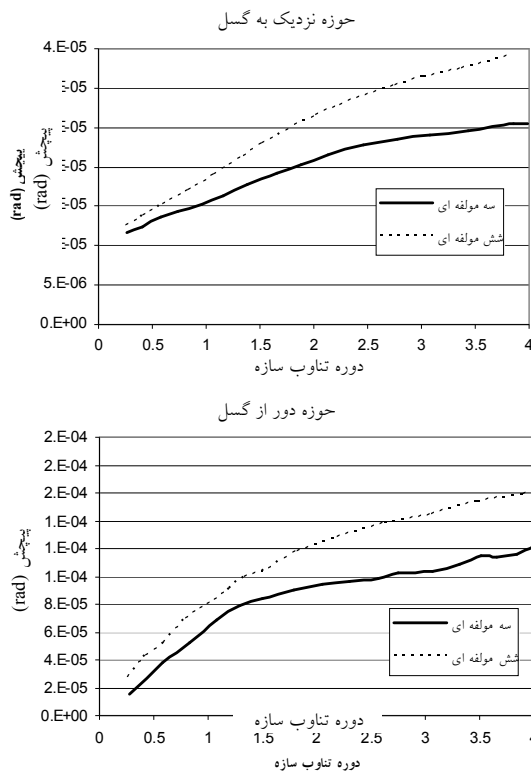


شکل (۸) تغییرات جابه‌جایی نسبت به تناوب سازه نامتقارن برای

زلزله‌های حوزه نزدیک و دور $e_s / \beta = 20\%$

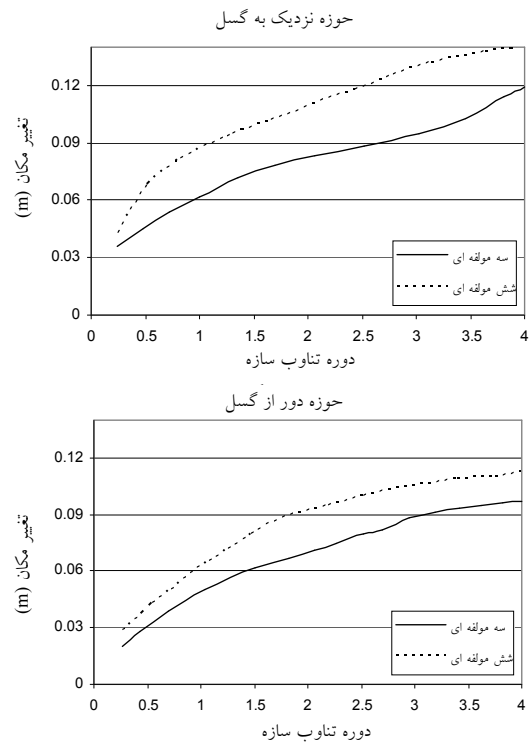
با مقایسه شکل ۸ مشاهده می‌شود که پاسخ اثر شش مؤلفه‌ای نسبت به حالت سه مؤلفه‌ای در حالت اعمال رکوردهای نزدیک گسل بیشتر از حالت دور از گسل است. همچنین در حالت نزدیک گسل تفاوت در پاسخ سه و شش مؤلفه‌ای در محدوده ۲ تا $3/5$ ثانیه، بیشتر است.

افزایش بیشتری دارد. تغییر مکان نزدیک گسل برای سازه نامتقارن بالا برای تحریک سه و شش مؤلفه‌ای به صورت نامنظم است و از نظم خاصی تبعیت نمی‌کند. میزان بیشترین اختلاف در محدوده ۲ تا ۳/۵ ثانیه برای زلزله نزدیک گسل و برای زلزله دور از گسل در محدوده ۱ تا ۲/۵ ثانیه دیده می‌شود.



شکل (۱۲) تغییرات پیچش نسبت به تناوب سازه نامتقارن برای زلزله‌های حوزه نزدیک و دور $e_s / \beta = 40\%$

مطابق شکل ۱۲ پاسخ پیچشی زلزله‌های نزدیک گسل در پریودهای بالا اختلاف بین پاسخ سه مؤلفه‌ای و شش مؤلفه‌ای وجود دارد. این اختلاف برای دور از گسل نیز قابل مشاهده است ولی برای نزدیک گسل محسوس‌تر است. در سازه بحث شده میزان نیروی محوری مطابق شکل ۱۳ در حالت نزدیک گسل با زیاد شدن پریود سازه کاهش می‌یابد.

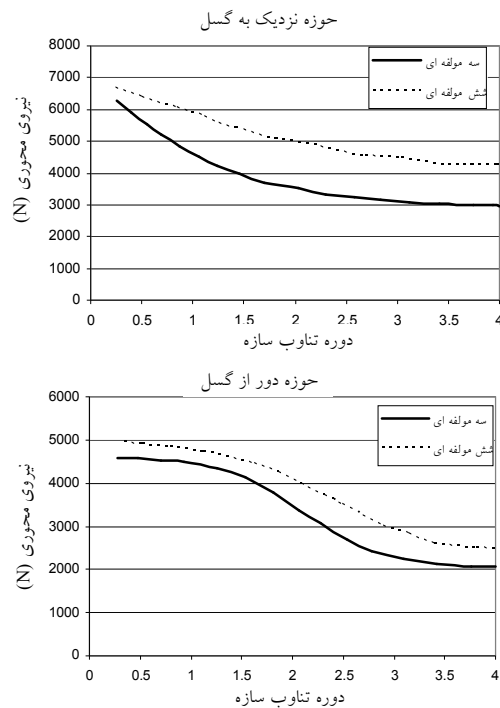


شکل (۱۱) تغییرات جابه‌جایی نسبت به تناوب سازه نامتقارن برای زلزله‌های حوزه نزدیک و دور $e_s / \beta = 40\%$

مطابق شکل ۸ مقدار افزایش پاسخ‌ها در دو حالت سه مؤلفه‌ای و شش مؤلفه‌ای رکوردهای دور از گسل کمتر از رکوردهای نزدیک گسل است. اختلاف بین پاسخ‌ها در پریودهای بیش از ۱/۵ ثانیه بیشتر است. همچنین با توجه به شکل ۹ تغییرات پیچش برای سازه‌های نامتقارن در دوره تناوب‌های بیش از ۲/۵ ثانیه قابل توجه است.

با توجه به شکل ۱۰ نیروی محوری ایجادشده در حالت نامتقارن تحت زلزله شش مؤلفه‌ای به مراتب بیشتر از حالت متقارن است و عکس حالت متقارن، پاسخ سه مؤلفه‌ای و شش مؤلفه‌ای اختلاف قابل توجهی در پریودهای مختلف به‌خصوص در پریودهای بلند دارد. در شکل ۱۱ با افزایش مقدار تناوب سازه، جابه‌جایی‌ها نیز افزایش یافته و برای رکوردهای دور از گسل مقدار اختلاف بین پاسخ سه مؤلفه‌ای و شش مؤلفه‌ای از تناوب ۱ ثانیه

استفاده می‌شود. محتوای فرکانسی مؤلفه‌های L و T مشابه ولی با محتوای فرکانسی مؤلفه عمودی متفاوت است. با توجه به محتوای فرکانسی مؤلفه‌های دورانی می‌توان دریافت موده‌های بالاتر نیز می‌توانند در مقدار پاسخ لرزه‌ای مؤثر باشند. برخلاف این که از تأثیر موده‌های بالاتر در پاسخ لرزه‌ای چشم‌پوشی می‌شود. با توجه به این که c سرعت موج برشی در رابطه پیشنهادی سینگ، غفوری آشتیانی برای به‌دست آوردن شتاب دورانی زمین‌لرزه در مخرج رابطه قرار دارد، مقدار شتاب دورانی زمین‌لرزه با سرعت موج برشی نسبت عکس دارد و برای مثال با تغییر سرعت موج برشی از ۵۰۰ متر بر ثانیه (خاک سخت) تا ۱۸۰ متر بر ثانیه (خاک نرم) مقادیر شتاب دورانی زمین‌لرزه و دامنه تبدیل فوریه شتاب دورانی زمین‌لرزه ۲/۷۷ برابر می‌شود. مقایسه نمودارهای طیف توان برای مؤلفه‌های نزدیک و دور از گسل نشان می‌دهد که بیشترین انرژی مؤلفه‌های انتقالی تا فرکانس‌های در حدود 10cps است که مؤلفه قائم آن‌ها محتوای فرکانسی بیشتری است. ولی طیف توان مؤلفه‌های چرخشی نشان می‌دهد که این مؤلفه‌ها در فرکانس‌های بین 7 تا 20cps دارای بیشترین انرژی را دارند. نتایج حاصل از پاسخ سازه ایده‌آل نشان می‌دهد چشم‌پوشی از مؤلفه دورانی در بعضی از موارد صحیح نیست. مؤلفه چرخشی زلزله در بیشتر موارد اثر افزایشده بر پاسخ سازه داشته است. این افزایش برای حالت سازه نامتقارن و برای نیروی محوری و پیچش بیشتر است. میزان این تأثیرات به عواملی مانند تناوب سازه و خروج از مرکزیت سختی بستگی دارد. با توجه به نمودارهای ارائه‌شده دیده می‌شود که تأثیر مؤلفه‌های چرخشی در سازه‌های نامتقارن به مراتب بیشتر است. در نواحی دور و نزدیک گسل برای سازه‌های متقارن با دوره تناوب $T < 1.5 \text{ sec}$ میزان تغییرات در پاسخ پیچشی چندان محسوس نیست و با افزایش نرمی سازه



شکل (۱۳) تغییرات نیروی محوری نسبت به تناوب سازه نامتقارن برای زلزله‌های حوزه نزدیک و دور

۷- نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه را می‌توان در دو بخش خلاصه کرد. قسمت اول مربوط به نتایج به‌دست‌آمده از رکوردهای دورانی است و قسمت بعدی به نتایج به‌دست‌آمده از پاسخ سازه مربوط می‌شود. روش‌های استفاده‌شده به‌وسیله‌ی چوپرا براساس حرکت شالوده است. [۱۴] روش ارائه‌شده در مرجع [۱۴] با توجه به موجود بودن ابعاد شالوده و روش به‌کار گرفته‌شده به‌وسیله‌ی چوپرا با توجه به موجود بودن مؤلفه انتقالی شتاب زمین‌لرزه در یک امتداد روی شالوده انجام می‌شود درحالی‌که روش ارائه‌شده در مرجع [۳] براساس حرکت محل است و نیازی به داشتن ابعاد شالوده و مؤلفه‌های انتقالی شتاب زمین‌لرزه در یک امتداد روی شالوده ندارد. روش‌های ارائه‌شده به‌وسیله‌ی مراجع [۳، ۱۵] برای شتاب‌نگاشت‌های ثبت‌شده در محل

کارشناسی ارشد، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

[7] Farzad Naeim (ed.). "The Seismic Design Handbook, 2nd Edition".

[۸] لطف الهی، ارسطو، «بررسی غیرارتجاعی سازه‌ها در برابر زلزله‌های نزدیک گسل»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، ۱۳۸۱.

[۹] هاشمی، شاکر، «اثر رکوردهای واقعی و مصنوعی نزدیک گسل بر ساختمان‌های فولادی با سیستم ترکیبی قاب خمشی و مهاربندی هم محور»، به راهنمایی دکتر حمزه شکیب؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، ۱۳۸۴.

[۱۰] حقیقی منفرد، ایمان، «پیشنهاد طیف طراحی زلزله در مناطق نزدیک گسل برای کشور ایران با استفاده از رکوردهای واقعی و مصنوعی» پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، ۱۳۸۶.

[11] M.R. Ghayamghamian, G.R. Nouri, "On the characteristics of ground motion rotational components using Chiba dense array data" Earthquake engineering & structural dynamics, 2007; 36:1407-1429.

[12] M. P. Singh, M. Ghafory-Ashtiany, "Analysis of nonclassically damped structures subjected to six correlated earthquake components" Earthquake engineering & structural dynamics, Volume 90, Issue 1, 3 November 1985, Pages 43-54.

[13] Alfredo Reyes-Salazar a; Arturo Lopez-Barraza a; Alfonso Lopez-Lopez a; Achintya Haldar b, "Multi-Component Seismic Response Analysis" Journal of Earthquake Engineering, Volume 12, Issue 5 June 2008, pages 779 - 799.

اختلاف بین پاسخ سه مؤلفه‌ای و شش مؤلفه‌ای بیشتر احساس می‌شود. همچنین در محدوده $T > 2\text{sec}$ هرچه بر نسبت خروج از مرکزیت به بعد سازه اضافه می‌شود، تأثیر مؤلفه‌های دورانی بر سازه بیشتر می‌شود و می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که اثر مؤلفه‌های چرخشی می‌تواند برای سازه‌های با دوره تناوب بالا (مانند پل‌ها) مهم باشد. بنابراین کنترل پیچش‌های اتفاقی در مورد این سازه‌ها از اهمیت زیادی دارد.

۸- مراجع

[۱] ضیا توحیدی، رضا، «تأثیر مؤلفه پیچشی زلزله بر خروج از مرکزیت اتفاقی در ساختمان‌های نامتقارن»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، ۱۳۷۶.

[۲] علیرضایی، مهدی؛ شکیب، حمزه، «ارزیابی شش مؤلفه‌ای رکورد زلزله‌های نزدیک گسل» هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، اردیبهشت ۱۳۸۸.

[3] M. P. Singh, M. Ghafory-Ashtiany, "Analysis of nonclassically damped structures subjected to six correlated earthquake components", Nuclear Engineering and Design, Volume 90, Issue 1, 3 November 1985, Pages 43-54.

[4] Castellani, G. Boffi "Rotational components of the surface ground motion during an earthquake" Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Volume 14, Issue 5, Pages 751 - 767.

[5] Lib.; Al-bermani f. G. A.; Kitipornchai S. "Maximum response of asymmetric structures subject to a multicomponent earthquake", Earthquake engineering & structural dynamics, 1993, vol. 22, no:12, pp. 1047-1066. (17 ref.).

[۶] عشقی، مهدی "تحلیل دینامیکی سازه رآکتور نیروگاه هسته‌ای بوشهر تحت اثر زلزله چندمؤلفه‌ای"، پایان‌نامه

- [16] Bozorgnia, Y. and Bertero, V.V. (2004). Earthquake Engineering From Engineering Seismology to Performance - Based Engineering. CRC Press , Boca Raton, FL, USA.
- [14] Jianwei Song, Zach Liang, Yi-Lun Chu and George C. Lee , "Peak earthquake response of structures under multi-component excitations" , Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Volume 6, Number 4 / December, 2007.
- [۱۵] شکیب، حمزه و همکاران؛ «طیف طرح زلزله برای ایران»، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن - شماره نشریه: گ - ۴۳۰.

Considering the Effect of Six Component of Near-Fault Earthquake Ground Motions on the Three Dimensional Systems

H. Shakib^{1*}, M. Alirezaie²

1- Prof., Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Ph.D. Student, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

Shakib@modares.ac.ir

Abstract:

The rotational components of seismic strong-motion are attracting attention since it is becoming evident that it may contribute considerably to the overall response of structures to earthquake motions. Also, it is clear that the effects of near-fault ground motions with large velocity pulses, large amplitude, long period, and pulse type of excitation can create critical working conditions. In the near-field of an earthquake the effects of the rotational components of ground motion may not be negligible specially for important structures. In this paper, an improved method for calculating the time histories of torsional and rocking components of ground motion corresponding to a set of three recorded orthogonal translational components is presented. The current processing of earthquake records provide information only about the three translational (two horizontal and one vertical) components of the ground motion, primarily because these are the only components that can be directly instrumentally measured. However, the translational components during a seismic event are always accompanied by rotational components because of the traveling wave effects. Several studies have shown the importance of rotational components in the seismic analysis and design of structures. The seismic design codes also prescribe “accidental eccentricity” in the design force calculations to account for the unknown torsional inputs and unintended eccentricity in the design of a building. One of the reasons why this input is not explicitly taken into account in the seismic design codes is the lack of reliable information on torsional ground spectra. In this study the three rotational components of earthquakes records is generated artificial by three translational components. The torsional motions in terms of time derivative of translational components and shear wave velocity of site are derived. Seven translational earthquake records of far fault and seven translational earthquake records from near-fault have been selected. The rotational components of far fault and near fault are generated the response spectral for translational as well as rotational components are presented and compare to each other in other to verify the characteristic of the near fault response spectral compare to the far fault response spectral. Furthermore, the effect of rotational motion on structural response is investigated. Therefore the six components of earthquakes records of far fault and near fault applied to the idealized system model and the response of the system are determine.

Key words: Rrotational components of earthquake; Near-fault; Far fault