

اثر حضور مولفه ی قائم زلزله بر پل های بتنی و فولادی درون شهری

احمد علی فلاح^۱، علی حسنی کوشکنو^۲

^۱عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد

^۲کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش زلزله دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد

چکیده

با توجه به خطر لرزه ای بالا در کشور ما و وجود گسله های فراوان در نزدیکی بسیاری از شهرهای ایران، احتمال وقوع زلزله های حوزه نزدیک با مولفه قائم قابل توجه فراوان است، آنچنان که این نوع تحریک در زلزله هایی مانند بم ۲۰۰۳ و طیس ۱۹۷۸ به راحتی قابل مشاهده می باشند، بسیاری از آیین نامه های طراحی پل مانند آیین نامه ایران یا از اثرات مولفه قائم صرف نظر کرده و یا استفاده از روشهایی مانند ساختن طیف طراحی قائم از طیف افقی با نسبتهایی مانند ۲/۳ را توصیه می کنند. تمامی پل های موجود بر اساس آیین نامه های خاصی بر اساس نوع ساختگاه و منطقه طراحی می شوند لذا لزوم استفاده از یک روش مناسب در هنگام طراحی برای کلیه پل ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. ضرورت طراحی مهندسان را به آن واداشت تا با توجه به اهمیت موضوع طراحی پل ها در کشور و احتمال وقوع هر گونه رخداد مخرب در هنگام اجرا و یا بهره برداری و یا زمان بحرانی وقوع زمین لرزه، تاثیر وجود و یا عدم وجود نیروی قائم زلزله را در طراحی پل مورد بررسی قرار دهیم. بدین منظور سازه پل بتنی با توجه به بندهای آیین نامه زلزله و بسط آن به سازه و اجزای سازه ای پل در دو حالت تحت بار های عادی و تحت بار های عادی و قائم زلزله در نرم افزار Csi Bridge که به تازگی از نرم افزار Sap جدا شده و نرم افزار تخصصی تحلیل و طراحی پل می باشد، مدل سازی شده و با یکدیگر مقایسه می شود و افزایش در هر قسمت بررسی می گردد و نتیجه حاصل می شود که ضریب S.F آیین نامه که به واسطه ی آن از مولفه ی قائم صرف نظر می کند، در مواقع بحرانی زلزله و خصوصا زلزله هایی که نسبت مولفه قائم به افقی افزایش داشته باشد، باعث بروز تخریب می گردد.

واژگان کلیدی: مولفه قائم زلزله، پل های بتنی و فولادی، زلزله های نزدیک گسل، آیین نامه های طراحی پل

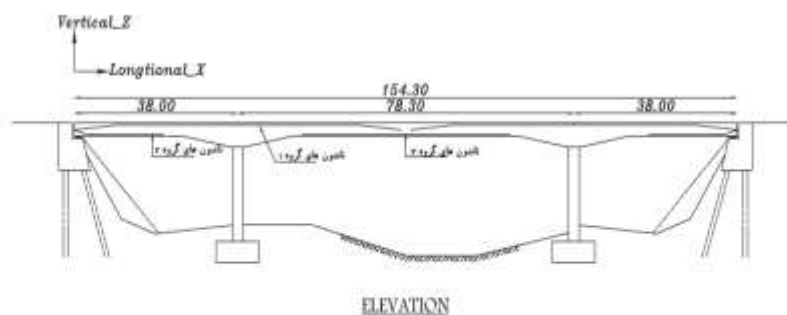
مقدمه

زلزله به عنوان پدیده مخرب در اغلب مناطق دنیا ایمنی ساختمانها و زندگی آن را در معرض تهدید قرار می دهد. در جامعه مهندسی به دلیل استفاده از مدل های تقریبی به منظور کاهش پیچیدگی تحلیل دینامیکی سازه ها، هیچگاه اثر مولفه قائم زلزله بر جابجایی افقی به صورت دقیق در نظر گرفته نمی شود، اما اکثر محققین عقیده دارند ممکن است شرایطی در سازه ها رخ دهد که تکانه های قائم زمین که بدلیل وجود مولفه قائم لرزه ها بوجود می آیند، می تواند باعث آسیب رساندن به سازه ها گردند. پلهای فولادی و بتنی در ایران همانند دیگر نقاط جهان مانند ژاپن و امریکا به دلیل تراکم خودروها و نیاز به گسترش جاده ها کاربرد روزافزونی یافته است. لیکن، تخریب اینگونه پل های عظیم در شاهراه ها و داخل شهرها در اثر زلزله های مختلف در کشورهای نظیر ایالات متحده ژاپن و نیوزیلند بیانگر ضعف های موجود در آیین نامه های فعلی این کشورها می باشد. پس زلزله کوبه ژاپن در سال ۱۹۹۵ و خسارات به بار آمده در بزرگراه ها، محققین مختلف به بررسی اثرات مولفه قائم زلزله در آسیب پذیری پلها پرداختند. نتایج این تحقیقات گام جدیدی در جهت بهبود ضوابط طراحی لرزه ای و تحلیل پلها در کشورهای لرزه خیز محسوب می شود.

مطالعات صورت گرفته در این زمینه:

در ارتباط با موضوع این پژوهش و اثر حرکات قائم زمین لرزه بر روی پله ها، تحقیقات زیادی انجام نگرفته است. اما در این میان این تحقیقات انجام گرفته نیز رفتار پلها تحت تحریک همزمان مولفه های افقی و قائم و حرکات زمین لرزه بررسی شده است و نتیجه گیری گردیده که اثرات حرکات قائم زمین لرزه بر روی عملکرد پل ها بسیار مهم می باشد و لحاظ کردن آن در تحلیل ها و ضوابط طراحی ها ضروری به نظر می رسد.

در مورد دیگر بررسی شده نیز اثر حرکات قائم زمین لرزه را بر روی شش نوع از پل ها، مدلسازی و بررسی کرده و ضوابطی را برای در نظر گرفتن اثر حرکات قائم زمین لرزه در تحلیل و طراحی هر کدام از آنها توصیه کرده است. (البته این مطالعه برای پل هایی که در آنها از سیستم اتلاف انرژی و جداگرهای لرزه ای استفاده شده است، می باشد) در مورد دیگر نیز اثرات مولفه ی قائم شتاب زمین لرزه بر روی عرشه پل های پیش تنیده جعبه ای با روش ساخت طره ای متعادل، با استفاده از مدل پل سه دهانه نشان داده شده در شکل یک، که در آن کلیه رفتارهای وابسته به زمان مصالح نیز، جهت ایجاد مدلی دقیق تر در نظر گرفته شده، مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱. پل سه دهانه پیش تنیده با تیرهای جعبه ای

در این پل ها به دلیل شرایط ساخت مرحله ای، تغییر سیستم استاتیکی پل و اثر متقابل آن با رفتارهای وابسته به زمان مصالح، به ویژه خزش بتن، که باعث ایجاد تغییرات قابل ملاحظه در تنش ها و تغییر مکان ها در مقاطع مختلف عرشه پل در طول زمان می شود، عرشه پل را در مقابل نیروهای وارده حساس تر می کند و در این حال تاثیر مولفه قائم زمین لرزه که معمولاً تا کنون چندان مورد توجه قرار داده نشده است، بخصوص برای نسبت های بالای شتاب قائم به شتاب افقی زمین لرزه، بر روی عملکرد عرشه پل، قابل ملاحظه و تعیین کننده به نظر می رسد.

مطالعات تحلیلی پروفسور صادق وزیری و همکاران در سال ۱۹۸۸ نیز حاکی از این است که نوسانات نیروهای محوری نه تنها پارامتری است که باید در اصول تحقیقاتی فعلی مورد نظر قرار گیرد، بلکه اهمیت آن بقدری چشمگیر است که روش و مدل

های رفتاری جدیدی برای ارزیابی پاسخ چرخه ای غیر خطی ستون های بتن مسلح تحت اثر نوسانات کوپله نشده نیروهای محوری جانبی لازم است.

مطالعات تحلیلی انجام شده در ارتباط با اثر مولفه قائم بر روی پلها

از اولین مطالعات صورت گرفته در این زمینه می توان به تحقیق صادق وزیری و فوج اشاره نمود. محققان نشان دادند تغییرات نیروی محوری پایه ناشی از تحریکات قائم می تواند ظرفیت اتلاف انرژی ستونها را کاهش دهد. این تغییرات همچنین بر روی ظرفیت برشی مقطع نیز تأثیر می گذارند. بورخویزن اثرات شتاب قائم را بر روی عرشه پل های بتنی پیش تنیده بررسی نمود و مشاهده کرد که با توجه به مولفه قائم تحریک لرزه ای، تنش کششی در عرشه می تواند از تنش کششی مجاز بیشتر شود. یو و همکاران نیز ۲۱ درصد افزایش در نیروی محوری و ۷ درصد تغییر در ممان طولی در اثر منظور نمودن مولفه قائم را مشاهده نمودند.

پس از آنها گلوید معیاری در طراحی ۶۰ پل با شاهتیرهای جعبه ای پیش تنیده ارائه داد که اثر مولفه قائم زلزله در آن منظور شده بود. مقادیر طراحی برای برش قائم عرشه و لنگر خمشی در دو دهانه سراسری پل ها نشان دادند که پاسخ دینامیکی حاصل از شتاب قائم می تواند بسیار بزرگتر از اثرات بار مرده باشد.

پاپازگلو و الناشای شواهد تحلیلی و میدانی از اثرات مخرب مولفه قائم، هم بر روی ساختمان و هم بر روی پلها را گزارش کردند. آنها ادعا کردند که نوسانات قابل توجه در نیروی محوری المانهای قائم، منجر به کاهش ظرفیت برش ستونها می شود. این مشاهدات به کمک شبیه سازی عددی تأیید گردیدند. الناشای و پاپازگلو و کولیر و الناشای با در نظر گرفتن گسل مسبب ضبط شده بودند، بر روی روشهای ساده ای که بتواند اثر مولفه قائم و افقی را ترکیب کند، کار کردند. در نتیجه این تحقیق به دلایل زیر توصیه شد که نسبت میرایی به ۲ درصد محدود شود:

مطالعات انجام شده در ارتباط با خصوصیات مولفه قائم :

بزرگ نیا و نیازی طی پژوهشی تغییرات نسبت شتاب قائم به افقی طیفی (V/H) را بررسی کردند و دریافتند که این نسبت برای دوره تناوبهای بلند، از مقادیر متناظره کوتاه کوچکتر است. سیلوا با ارائه مجموعه ای از رکوردها، خصوصیات عمومی نوسانات قائم نسبت به نوسانات افقی را در زلزله های حوزه نزدیک و دور مورد مطالعه قرار داد. وی در این تحقیق اظهار داشت که تاریخچه نوسانات قائم الگویی را نشان می دهد که در آن نوسانات قائم با دوره تناوبهای کوتاه زودتر از نوسانات افقی اصلی به محل می رسند، این در حالی است که نوسانات با دوره تناوب بلند تر برای هر سه مولفه عمود دارای زمان سیر حدوداً یکسان می باشند. بزرگ نیا و کپیل خصوصیات طیف پاسخ حرکات قائم ثبت شده در طی زلزله نورترنج را بررسی کرده، دریافتند که نسبت پاسخ طیفی قائم به افقی (V/H) به شدت، زمان تناوب و همچنین فاصله سایت از منبع ارتعاش بستگی دارد. آنها همچنین نتیجه گرفتند که نسبت (V/H) برابر با (که به تازگی در آیین نامه ها معمول گردیده) برای سازه های با دوره تناوب طبیعی کم، دست پایین و برای سازه هایی مانند پلهای بزرگراهی که اغلب دارای دوره تناوب طبیعی کوتاه هستند حائز اهمیت می باشد.

روش تحقیق

اثر مولفه ی قائم زلزله های حوزه نزدیک در پاسخ چرخه ای با پایه های بلند نتایج نشان می دهد که مولفه قائم زلزله سبب افزایش نیروهای محوری در پایه های پل فارغ از ارتفاع پل می شود که هر چه ارتفاع پایه بیشتر باشد این آیتم افزایش می یابد.

همچنین پایه های بلند تحت اثر مولفه های افقی و قائم زلزله وارد مرحله ی غیر خطی می شود و در ابتدا و انتهای آن مفصل پلاستیک تشکیل می شود در حالیکه پایه های کوتاه در مرحله ی خطی باقی می ماند و در پایه های میانی به نقطه بحرانی نزدیک می شود.

در میان انواع سازه ها پل بعنوان شریان حیاتی که میبایست بعد از وقوع هر بحران از قبیل زلزله و... به عنوان راه دسترسی به بیمارستان ها و ایستگاه های آتش نسانی و سایر خدمات بحران که مورد استفاده قرار می گیرد ، بی تردید جایگاه ویژه ای

دارند. نتیجه خسارت و یا انهدام پلها در یک زلزله شدید، شامل فقدان دسترسی به خدمات اضطراری، از دست دادن زندگی و در دراز مدت وقفه در سیستم حمل و نقل می باشد.

در طی زلزله های شدیدی مانند نورتریج و کوبه پلهای موجود از خود آسیب پذیری نشان دادند. این نکته قابل ذکر است که حتی پلهای مدرن موجود نیز، دچار صدمات جدی شکست سازه ای سنگین و تخریب کامل پل در بسیاری از موارد گشته اند.

صدمات سنگین مشاهده شده بر اثر زمین لرزه، اکثراً پی آمد لرزش شدید سازه بطور عمده در محدوده غیر خطی است.

اثر مولفه ی قائم زلزله بر پل های قابی

اغلب آیین نامه های طراحی پل در بحث تحلیل لرزه ای پل ها، یا از اثر مولفه قائم صرفنظر میکند و یا روش مشخصی برای در نظر گرفتن مولفه قائم زلزله ارائه نمی کند، ولی با این حال زلزله های چند دهه اخیر نشان می دهد که اثر مولفه قائم زلزله می تواند در تعدادی موارد از عوامل اصلی تخریب باشد.

در مواردی که اثر مولفه قائم زلزله در طراحی وارد می شود تابع طیف به طور معمول ۲:۳ طیف پاسخ مولفه افقی منظور می شود. با این حال مطالعات جدید نشان می دهند که نسبت مولفه عمودی به افقی در پیوند های پایین و در نواحی نزدیک به گسل، تخمینی در خلاف جهت اطمینان است.

هرچند اثر لرزش قائم در آیین نامه های طراحی با افزایش یا کاهش میزان بار مرده در ترکیب های بارگذاری آمده است. در راهنمای آیین نامه آشتو با افزایش یا کاهش بار مرده تا ۲۰ درصد (ضرایب بار ۰/۸ و ۱/۲) برای در نظر گرفتن اثر مولفه قائم آمده است با این حال این ضریب میزان بزرگی زلزله و فاصله پل تا گسل و نوع پل را در نظر نمی گیرد.

اولین مطالعات در مورد اثر مولفه قائم زلزله روی پل ها توسط پروفسور وزیری در سال ۱۳۶۷ انجام شد که در گروه خود از یک مدل المان محدود که قادر به مدل کردن رفتار غیر خطی ستون های بتنی تحت اثر ترکیب تغییر شکل های افقی و قائم بود، استفاده کردند و با مدلسازی سه بعدی روی ۸ مدل نشان دادند که نیروی محوری متغیر در ستون ها موجب باریک شدن منحنی هیستریزیس می شود و نتیجه این امر تغییر شکل های بزرگ و کم و زیاد شدن ظرفیت برشی ستون ها بود. همچنین نتایج مطالعات ایشان نشان می دهد که در حرکات زلزله با شتاب حداکثر موثر $EPA=0/49$ و کمتر، آسیب اضافی که بوسیله مولفه قائم ایجاد می شود به حداقل می رسد، در حالیکه برای حرکات زلزله با EPA برابر ۰/۷ وجود مولفه قائم موجب آسیب های قابل توجه بیشتری می شود.

طی زلزله های کوبه و نورتریج در بررسی تعداد زیادی گسیختگی های مشاهده شده در پل ها می توان نتیجه گرفت که اکثر خرابی های ستون ها به علت افزایش نیروی محوری حاصل از مولفه قائم زلزله بوده است.

نتایج بررسی ها نشان می دهد که گسیختگی فشاری تولید شده که به صورت کمناش آرماتورهای طولی به سمت خارج، گسیختگی آرماتورهای عرضی و خرد شدن بتن در وسط ارتفاع پایه های پل روی داده بود عامل اصلی خرابیها بود.

این نتایج نشان می داد که گسیختگی فشاری در قسمتی از پایه شروع می شد که آرماتورهای طولی قطع شده باشند یعنی در نواحی که تمرکز تنش به علت کاهش سطح مقطع وجود دارد.

پروفسور اسماعیلی نیز ۶ ستون را با مقیاس های ۱:۴ تحت آزمایش قرار داد که نتایج حاصل از آن نشان میداد که افزایش در مقدار بار محوری فشاری موجب افزایش ظرفیت خمشی شده، ولی شکل پذیری را کاهش می دهد و لنگر شکست حداکثر تحت بار محوری متغیر از مقدار قابل پیش بینی در روابط معمول کمتر می باشد.

آخرین تحقیقات پروفسور کرونین و گروهش در سال ۲۰۰۲ بر روی ۶ پل با سیستمهای استاتیکی مختلف بود که نتایج تحقیق این گروه شامل تحلیل های طیفی خطی و تحلی های تاریخچه زمانی و غیر خطی بود.

بر اساس نتایج حاصل از تحلیل های خطی و غیر خطی، پیشنهاد هایی بر اساس موقعیت که اثر مولفه قائم زلزله باید در نظر گرفته شود و همچنین نحوه وارد کردن اثر مولفه قائم زلزله در ترکیب های بارگذاری، ارائه شده است.

اثر مولفه ی قائم زلزله در رفتار لرزه ای پل بتنی

پل های با پایه بتن مسلح در ایران مانند سایر نقاط جهان مانند آمریکا و ژاپن رشد بیشتری نسبت به پایه فلزی داشته است، حال تخریب پایه اینگونه پل ها ی عظیم درون شهری و شاهراهی در اثر زلزله های مختلف در کشور هایی نظیر آمریکا و ژاپن و نیوزلند، بیانگر ضعف های موجود در آیین نامه های فعلی در این کشور های می باشد.

پس از زلزله کوبه و خسارات به بار آمده در بزرگراه ها، محققین مختلف به بررسی اثرات مولفه قائم زلزله در آسیب پذیری پل و مخصوصا پایه های آن پرداختند و نتایج این تحقیقات گام بزرگی در جهت بهبود ضوابط طراحی لرزه ای و تحلیل پل ها در کشور های لرزه خیز محسوب می شود.

اثرات مولفه قائم شتاب به طور همزمان با مولفه ی افقی در عملکرد لرزه ای و آسیب پذیری پل های بتنی مسلح با پایه های منفرد با تحلیل رفتار غیر خطی دینامیکی پل تحت اثر شتابنگاشت زلزله طبس توسط پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به دست آمده بیانگر افزایش نیروی محوری پایه در حدود ۳۰٪ در اثر مولفه قائم زلزله می باشد.

همچنین در اثر مولفه قائم زلزله، حالت ترک خوردگی پایه از مد خمشی و شکل پذیری به مد برشی و ترد تمایل پیدا می کند.

همانطور که گفته شد خسارات گسترده پل های شاهراه ها در دهه اخیر طی زلزله های نورتریج و کوبه و لوماپریتا باعث گردید تا کشورهایی چون ژاپن و آمریکا در آیین نامه های طراحی خود تجدید نظر اساسی کنند.

در ویرایش جدید آیین نامه های طراحی پلها، روش طراحی سنتی مبنی بر نیرو و به کمک تحلیل خطی جای خود را به روش طراحی مبتنی بر تغییر مکان و تحلیل غیر خطی داده است.

تجربیات و تحقیقات عملی نشان می دهد که آثار ضربه ای ناشی از حرکت قائم زلزله باعث ترک های حلقوی در پایه های بتنی پل ها می شود.

شاهدان عینی در هنگام زلزله کوبه ژاپن در سال ۱۹۹۵ در کنار بزرگراه هانشین حضور داشته اند بیان می کنند که این پل های بزرگراهی در لحظات اولیه زلزله تحت اثر حرکت قائم زلزله قرار گرفته اند.

خسارات گسترده ناشی از این زلزله باعث شد که مقررات پل شاهراه ها در سال ۱۹۹۶ با اصلاحات گسترده ای همراه گردد. یک تغییر عمده در ضوابط طراحی استفاده از روش طراحی شکل پذیری با استفاده از روش تغییر مکان به جای استفاده از نیرو می باشد.

همچنین به دلیل نقش قابل توجه مولفه قائم زلزله در خرابی پل های شاهراه ها، اثرات مولفه قائم زلزله در طراحی پل ها مبنایست منظور گردد.

آسیب پذیری پایه های پل بتن مسلح در برابر مولفه قائم زلزله

معمولا در طراحی لرزه ای پل ها و به خصوص پل های بتن مسلح، اثر مولفه قائم زلزله را در نظر نمی گیرند، حال آنکه اندازه گیری های زمین در طول زلزله های گذشته نشان می دهد که حداکثر شتاب قائم می تواند با حداکثر شتاب افقی زلزله برابری کند یا ممکن است حتی مقدار بزرگتری داشته باشد.

غالب پژوهش های انجام شده در گذشته منحصر به مطالعه رفتار خمشی ستون های بتن مسلح تحت اثر نیروی محوری ثابت بود. مطالعات گیلبرت سن جزو محدود آزمایشاتی بود که تغییرات محوری در آن منظور گشته بود.

کارهای تحلیلی پروفیسور کشاورزبان و گروه تحقیقاتی اش نیز نوسانات نیروی محوری را در پاسخ سازه بتنی قاب - دیوار برشی در نظر گرفته اند. اگر چه در این پژوهش ها تغییرات نیروی محوری متناسب با لنگر و نیروی جانبی بوده و تراز نیروی محوری در مقایسه با نیروی بالانس مقطع کوچک انتخاب شده است.

مطالعات پروفیسور وزیری نیز حاکی از این بود که نوسانات نیروی محوری نه تنها پارامتری است که باید در اصول تحقیقات فعلی مورد نظر قرار گیرد بلکه اهمیت آن بقدری چشمگیر است که روش ها و مدل های رفتاری جدیدی برای ارزیابی پاسخ چرخه ای غیر خطی ستون های بتن مسلح تحت اثر نوسانات کوپله نشده، نیروهای محوری و جانبی لازم است.

حرکت قائم باعث متناوب شدن نیروهای محوری در پایه های پل می شود که این عمل منجر به ناپایداری سازه و افزایش شکل پذیری مورد نیاز می گردد. همچنین به علت تغییر علامت نیروی محوری، مقاومت نهایی بتن کاهش می یابد. اگر نیروی محوری ایجاد شده کششی باشد سختی پایه ها کاهش می یابد و از این رو ظرفیت برشی نهایی هم کاهش می یابد. نیروی کششی باعث جاری شدن آرماتورهای طولی گسیختگی برشی قطری می شود. از سوی دیگر اگر نیروی محوری فشاری باشد ظرفیت حمل بار نهایی افزایش می یابد. در صورتیکه شکل پذیری پایه ها کاهش می یابد. اگر نیروی محوری ایجاد شده کششی باشد سختی پایه ها کاهش می یابد و از این رو ظرفیت برشی نهایی هم کاهش می یابد. نیروی کششی باعث جاری شدن آرماتورهای طولی گسیختگی برشی قطری می شود. از سوی دیگر اگر نیروی محوری فشاری باشد در صورتیکه شکل پذیری پایه ها کاهش یابد ظرفیت حمل بار نهایی افزایش می یابد.

همچنین تعداد زیادی از گسیختگی های مشاهده شده در پل ها طی زلزله نورتریج و کوبه را می توان به افزایش نیروی محوری حاصله از مولفه قائم زلزله نسبت داد. بویژه گسیختگی فشاری تولید شده که بصورت کمانش آرماتورهای طولی بسمت خارج، گسیختگی آرماتورهای عرضی و خرد شدن بتن در وسط ارتفاع پایه های پل روی داده است. گسیختگی فشاری در نواحی از پایه شروع می شود که آرماتورهای طولی قطع شده باشند. نواحی که تمرکز تنش به علت کاهش سطح مقطع وجود دارد.

مورد مولفه قائم زلزله مطالعات زیادی بعد از فهمیدن اثر آن در مواقع بحرانی زلزله شده است به طور مثال در یک تحقیق از ۱۸۶ شتابنگاشت از ۴۲ زلزله که دارای شرایط فاصله از گسل کمتر از ۱۵ کیلومتر و عمق کانونی بالای ۲۰ کیلومتر و فاصله سطحی بالای ۵٫۸ کیلومتر می باشند، استفاده شده است که ۱۳۳ شتابنگاشت یعنی ۷۲ درصد کل آن، مربوط به زلزله های آمریکا و ۴۰ شتابنگاشت یعنی ۲۲ درصد مربوط به زلزله های اروپا و ۱۳ شتابنگاشت یعنی ۶ درصد کل مربوط به زلزله های کانادا، نیکاراگوئه، ژاپن و تایوان می باشد.

همچنین ۹۸ شتابنگاشت مربوط به زلزله های رانشی (۵۳٪)، ۷۲ شتابنگاشت مربوط به زلزله های لغزشی (۳۹٪) و ۱۶ شتابنگاشت مربوط به زلزله های طبیعی (۸٪) می باشد.

پژوهش آماری انجام شده در مورد ۱۸۶ شتابنگاشت ذکر شده در بالا، نشان می دهد که نسبت حداکثر شتاب قائم به حداکثر شتاب افقی در زلزله های لغزشی برابر ۷۳٪ و در زلزله های طبیعی برابر ۶۱٪ می باشد.

روش ساده شده اثر مولفه ی قائم زلزله بر سازه ی پل

به طوری که گفته شد در روشهای معمول طراحی پل ها، اثر مولفه قائم زلزله به طور مستقیم در نظر گرفته نمی شود. معمولاً به جای استفاده از طیف شتاب قائم، از طیف شتاب افقی بصورت کاهش یافته استفاده می گردد.

در بعضی تحقیقات نسبت طیف شتاب قائم به افقی را با نسبت $V/H=0/67$ نشان می دهند و در بعضی آیین نامه ها و تحقیقات مختلف برای در نظر گرفتن اثر مولفه قائم از اعمال در صدی از بار مرده بر سازه پل استفاده می شود که این دو روش دارای خطاهایی هستند.

هنوز روش ساده شده ای برای اعمال اثر مولفه قائم زلزله بر سازه پلها که دقت کافی در پاسخ موجود باشد، وجود ندارد و دقیق ترین روش استفاده از طیف یا رکورد شتاب قائم بطور مستقیم می باشد.

در سالهای اخیر، اثر مولفه قائم زلزله بر پاسخ لرزه ای سازه ها توسط محققین مختلفی مورد بررسی قرار گرفته که به چند مورد آن ها اشاره گردید. بررسی زلزله های گذشته نشان می دهد که ماکزیمم شتاب قائم در بعضی مواقع بیشتر از ماکزیمم شتاب افقی شده است. این مطلب بستگی به بزرگی زلزله، فاصله از منبع، مسیر عبور امواج و شرایط سایت دارد.

تکان های قائم زمین

طبیعت تکان های قائم

مشخصات مولفه قائم زلزله با مولفه افقی آن متفاوت است. مولفه قائم زمین لرزه در اثر انتشار امواج P بوجود می آید در حالیکه مولفه افقی در آن در اثر انتشار امواج S بوجود می آید.

بنابراین مولفه قائم زمین لرزه محتوای فرکانسی بالاتری نسبت به مولفه افقی دارد. این محتوای فرکانسی بالاتر به بزرگنمایی بزرگتر در پریودهای کوتاه منجر می شود.

نسبت شتاب ماکزیمم قائم به افقی V/H

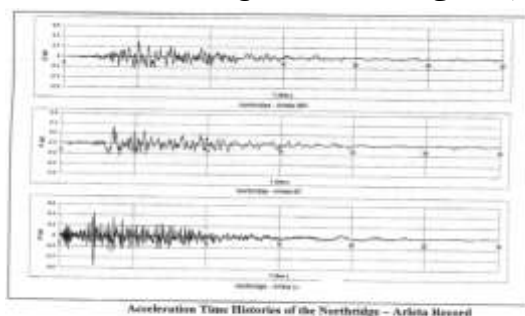
مشخصه های مولفه قائم تکان های زمین معمولا با نسبت مولفه قائم به مولفه افقی شتاب حداکثر زمین تعیین می شود. برای این منظور از طیف افقی شتاب استفاده می شود و در نتیجه مولفه های تکان های افقی و قائم زمین با یک محتوای فرکانسی در نظر گرفته می شود.

از آنجاییکه محتوای فرکانسی مولفه ی قائم و افقی با هم متفاوت است ، به نظر می رسد که در نظر گرفتن اثر مولفه قائم به صورت در صدی از طیف شتاب افقی و برابر $0/67$ می باشد که دارای خطا می باشد . همچنین این نسبت در فواصل نزدیک از منبع اصلی زلزله غیر محافظه کارانه است.

فاصله زمانی رسیدن شتاب های قائم و افقی

فاصله زمانی بین رسیدن حداکثر مولفه قائم و افقی شتاب زلزله در پاسخ سازه ها پارامتر مهمی است . پارامتر ذکر شده بسته به مقدار بزرگی و فاصله از منبع دارد. زودتر رسیدن مولفه قائم باعث می شود که سازه قبل از رسیدن مولفه افقی در جهت قائم تحت شتاب قرار گیرد و با توجه به این نکته در جهت قائم تحت شتاب قرار گیرد و با توجه به این نکته که فرکانس سازه ها به علت سختی زیاد در جهت قائم زیاد و پریود آن ها کوتاه می باشد ، در نتیجه به طور موثر تحت تاثیر مولفه قائم که در پریود های کوتاه موثرتر عمل می کند ، قرار گرفته و در پاسخ سازه تاثیر دارد.

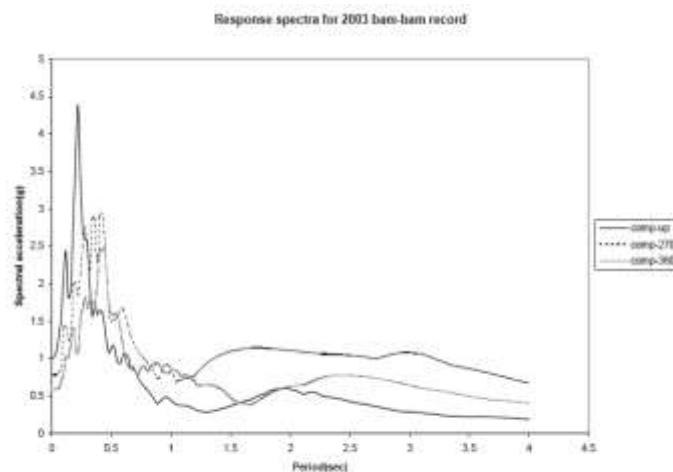
به عبارت دیگر ، با روش های ساده شده ی موجود نمی توان اثر ترکیبی این دو مولفه را در نظر گرفت . بنابراین در صورت لزوم ، در نظر گرفتن تکان های زمین در هر دو امتداد افقی و قائم ضروری است. برای نشان دادن فاصله ی زمانی بین دو مولفه افقی و قائم شتاب زلزله ، تاریخچه زمانی شتاب زلزله نورتریج در ایستگاه آلتا در شکل شماره زیر نشان داده شده است.



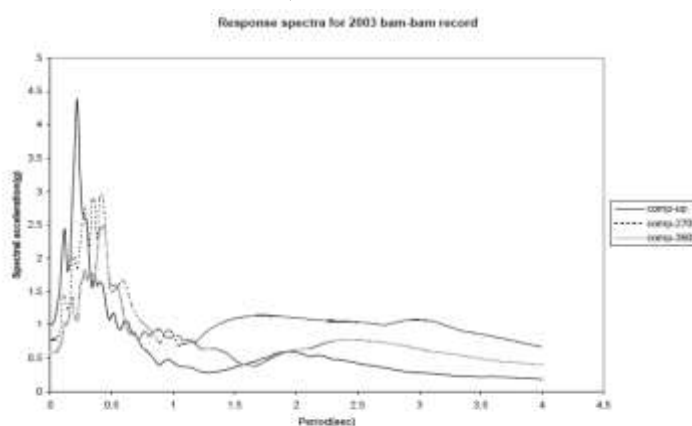
شکل ۲. زمان رسیدن مولفه قائم و افقی - زلزله نورتریج - ایستگاه آلتا

طیف شتاب مولفه قائم و افقی زلزله و نسبت طیف شتاب قائم به افقی V/H

طیف شتاب قائم در فواصل نزدیک و در پریود های کوتاه می تواند از طیف افقی بیشتر شود ، به عنوان مثال طیف شتاب زلزله بم در دو ایستگاه نزدیک بم و ایستگاه دورتر جیرفت در اشکال زیر نشان داده شده است. در فواصل نزدیک از منبع و در پریود های کوتاه ، طیف قائم بیشتر از طیف افقی است و در پریود های بزرگتر این مقدار کمتر یا برابر طیف افقی می گردد. در فواصل دور از منبع ، طیف شتاب قائم کمتر از طیف افقی است.

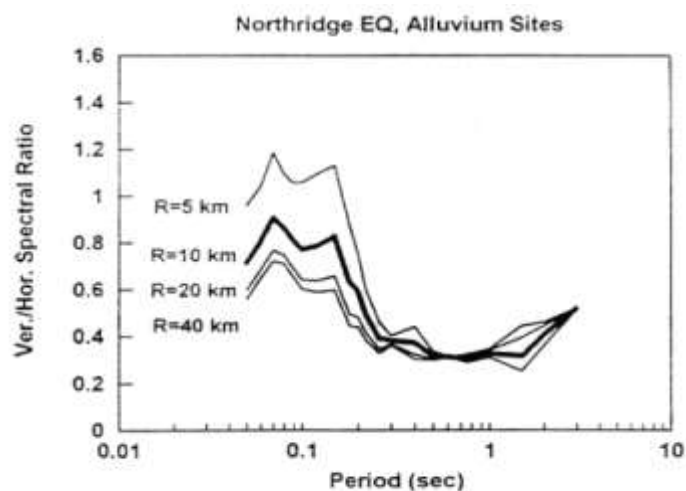


شکل ۳. طیف شتاب زلزله بم - ایستگاه جیرفت

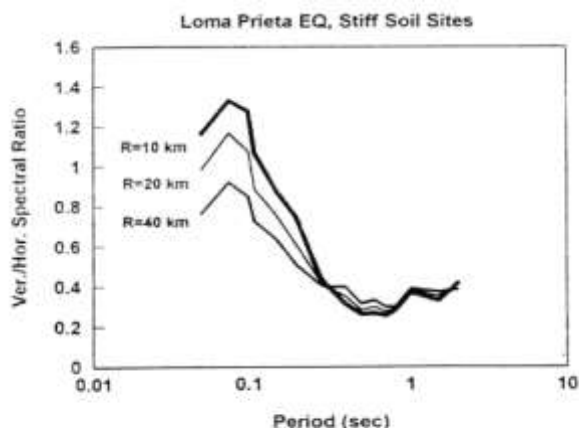


شکل ۴. طیف شتاب زلزله بم - ایستگاه بم

نسبت طیف شتاب قائم به افقی، در پریودهای مختلف و فواصل متفاوت از منبع و همچنین بزرگای متغیر توسط محققین مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در فواصل نزدیک و پریودهای کوتاه، مقدار این نسبت بزرگتر از یک و در فواصل دور و پریودهای بزرگتر کاهش می‌یابد. نمونه‌ای این منحنی‌ها در شکل‌های زیر نشان داده شده است.



شکل ۵. نسبت طیف قائم به افقی نورتریج در فواصل ۲۰، ۱۰، ۵ و ۴۰ کیلومتری از گسل



شکل ۶. نسبت طیف قائم به افقی کالیفرنیا در ایستگاه لوماپریتا در سال ۱۹۸۹

بررسی اثر مولفه ی قائم بر پل های نزدیک گسل

اندازه گیری های حرکات زمین در طول زمین لرزه های گذشته نشان می دهد که شتاب قائم زمین لرزه می تواند به بزرگی شتاب های زمین لرزه در جهت افقی برسد و یا حتی ممکن است در بعضی موارد از این شتاب ها نیز تجاوز نماید. همانطور که گفته شد اکثر آیین نامه های طراحی پل در بحث تحلیل لرزه ای پلها، یا اثر مولفه قائم را در نظر نمی گیرند و یا روش مشخصی برای در نظر گرفتن آن ارائه نمی دهند. با این حال بررسی های زمین لرزه های چند دهه اخیر نشان می دهد که اثر مولفه قائم زلزله می تواند در برخی از موارد از عوامل اصلی خرابی ها و تخریب کامل پل ها باشد. بسیاری از محققین برای در نظر گرفتن اثر مولفه قائم زلزله، همانطور که بیان شد آن را به صورت ضریبی از طیف مولفه افقی زلزله معرفی نموده اند که تحقیقات و زلزله های چند دهه اخیر نشان داده است که این نسبت در فاصله دور از گسل محافظه کارانه و در فاصله نزدیک گسل و پریود های کوتاه، دست پایین می باشد.

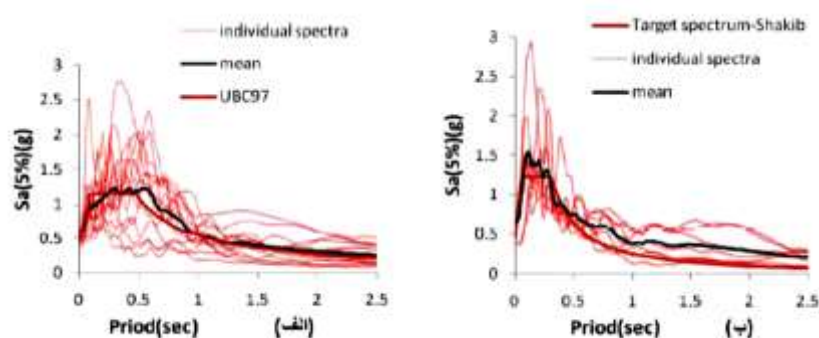
همچنین استفاده از روش اعمال درصدی از بار مرده در جهت مثبت و منفی دارای خطای زیادی می باشد، زیرا همان طور که بیان شد تلاش های قسمت های مختلف سازه ها، به یک نسبت تحت تاثیر بار مرده و مولفه قائم زلزله نیستند، به عبارت دیگر یعنی تشدید لنگر، برش و یا نیروی محوری در ستون ها در نتیجه ی تاثیر مولفه قائم زلزله به یک میزان نیست.

مشخصات زمین لرزه نزدیک گسل

در جدول زیر ۷ رکورد زلزله در فواصل نزدیک گسل از نواحی مختلف جهان با فرض این که مولفه قائم زلزله در رکوردهای انتخابی قابل ملاحظه می باشد، به همراه مشخصات آنها به نمایش در آمده است.

جدول ۱. جدول رکوردهای زلزله در فواصل نزدیک گسل

N	Earthquake	Year	Station	Mw	Distance(km)	Site Class	PGA-1 (g)	PGA-2 (g)	PGA-up (g)
1	Landers	1992	Lucerne	7.3	2.19	II	0.71	0.54	0.66
2	Loma Prieta	1989	Corralitos	6.9	3.85	II	0.662	0.511	0.45
3	Manjil,Iran	1990	Abbar	7.4	10	II	0.4	0.38	0.31
4	Northridge-01	1994	Beverly Hills-12250 Mulhol	6.7	18.36	II	0.617	0.444	0.314
5	Northridge-01	1994	Castaic-Old Ridge Route	6.7	19.72	II	0.568	0.514	0.217
6	ChiChi-Taiwan	1999	CHY028	7.6	3.14	II	0.776	0.687	0.35
7	Northridge-01	1994	Sylmar-Olive View Med FF	6.7	5.3	II	0.85	0.62	0.54



شکل ۷. طیف های زلزله ها (الف) مولفه های افقی (ب) مولفه های قائم

اثر مولفه ی قائم بر روی پل های بزرگراهی بتنی

همانطور که گفته شد با توجه به خطر لرزه ای بالا در کشور ما و وجود گسل های فراوان در نزدیکی بسیاری از شهر های ایران ، احتمال وقوع زلزله های در حوزه نزدیک با مولفه ی قائم قابل توجه ، فراوان است.

آنچنان که این نوع تحریک در زلزله هایی مانند بم در سال ۲۰۰۳ و طیس در سال ۱۹۷۸ به راحتی قابل مشاهده می باشند. همچنین از طرف دیگر بسیاری از آیین نامه های طراحی پل مانند آیین نامه ایران از اثرات مولفه قائم صرفنظر کرده و یا روشهایی مانند ساختن طیف طراحی قائم از طیف افقی با نسبت هایی مانند ۲/۳ را توصیه می کنند.

این در حالی است که تحقیقات و مطالعات جدید ، شدت قابل توجه مولفه قائم زلزله را در نزدیکی گسل ها یادآور می شود بیشتر آیین نامه های طراحی یا به طور کل از اثرات مولفه قائم صرفنظر می کنند و آن را ناچیز و قابل چشم پوشی می دانند و یا آن ها را دست کم می گیرند.

گسترش امکانات ثبت حرکات زلزله و شبکه های لرزه نگاری از یک سو و توانمندی متخصصان در تحلیل دینامیکی دقیق از سازه ها از سوی دیگر موجب جلب توجه بسیاری از محققین به مولفه قائم زلزله و اثرات آن بر سازه شده است. نتایج کار پژوهش های صورت گرفته ، روند فعلی آیین نامه ها را نقد نموده و آن را غیر محافظه کارانه می داند. مطالعات صورت گرفته در این مبحث به دو دسته ی مشخصات مولفه قائم زلزله و اثرات مولفه قائم زلزله بر روی پل های بزرگراهی تقسیم می شود.

پروفسور بزرگ نیا و نیازی طی پژوهشی تغییرات نسبت شتاب قائم به افقی طیفی را بررسی کردند و دریافتند که این نسبت برای دوره تناوب های بلند ، از مقادیر متناظر کوتاه کوچکتر است.

سیلوا با ارائه مجموعه ای از رکوردها ، خصوصیات عمومی نوسانات قائم نسبت به نوسانات افقی را در زلزله های حوزه نزدیک و در دور مورد مطالعه قرار داد. وی در این تحقیق اظهار داشت که تاریخچه نوسانات قائم ، الگویی را نشان می دهد که در آن نوسانات قائم با دوره تناوب های کوتاه ، زودتر از نوسانات افقی اصلی به محل می رسند، این در حالی است که نوسانات با دوره تناوب بلند تر برای هر سه مولفه عمود ، دارای زمان سیر حدودا یکسان می باشد.

کمپبل و بزرگ نیا خصوصیات طیف پاسخ حرکات قائم ثبت شده در طی زلزله های نورتریج را بررسی کرده و دریافتند که نسبت پاسخ طیفی قائم به افقی ، به شدت ، زمان تناوب و همچنین فاصله سایت از منبع ارتعاش بستگی دارد.

آنها همچنین نتیجه گرفتند که نسبت مولفه قائم به افقی زلزله برای سازه های با دوره تناوب طبیعی کم ، دست پایین و برای سازه های با دوره تناوب بالا ، محافظه کارانه است. (این مورد به تازگی در آیین نامه های دنیا معمول گردید است) این مورد به ویژه برای سازه هایی مانند پل های بزرگراهی که اغلب دارای دوره تناوب طبیعی کوتاه می باشند، حائز اهمیت می باشد.

مطالعات تحلیلی پل های بزرگراهی

تحقیقاتی که نشان می داد تغییرات نیروی محوری پایه ناشی از تحریکات قائم می تواند ظرفیت اتلاف انرژی ستون ها را کاهش دهد و همچنین بر روی ظرفیت برشی مقطع نیز تاثیر می گذارند

بررسی اثرات شتاب قائم بر روی عرشه پل های بتنی و نتیجه گیری این که با توجه به مولفه قائم تحریک لرزه ای ، تنش کششی در عرشه می تواند از تنش کششی مجاز بیشتر شود

افزایش ۲۱ درصدی در نیروی محوری و ۷ در صد تغییر در ممان طولی در اثر منظور نمودن مولفه قائم ارائه معیاری در طراحی ۶۰ پل با شاهتیر های جعبه ای پیش تنیده که اثر مولفه قائم زلزله در آن منظور شده بود و مقادیر طراحی برای برش قائم عرشه و لنگر خمشی در دو دهانه سراسری پل ها ، نشان می داد که پاسخ دینامیکی حاصل از شتاب قائم می تواند بسیار بزرگتر از اثرات بار مرده باشد.

ارائه شواهد تحلیلی و میدانی از اثرات مخرب مولفه قائم ، هم بر روی ساختمان و هم بر روی پل ها گزارش شد و ادعا شد که نوسانات قابل توجه در نیروی محوری المان های قائم ، منجر به کاهش ظرفیت برشی ستون ها می شود و همچنین شبیه سازی عددی نیز ارائه دادند

براساس نتایج حاصل از تحلیل های خطی و غیر خطی ، پیشنهاد هایی برای موقعیتی که بایستی اثر مولفه قائم منظور شود و همچنین نحوه وارد کردن اثر مولفه قائم زلزله در ترکیب های بارگذاری ارائه نمودند. (بیشتر این مطالعات به تحلیل های خطی طیفی و دینامیکی محدود شده است)

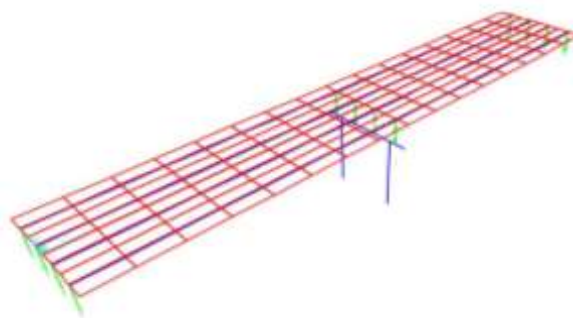
انجام یک تحقیق مرکب از تحلیل و آزمایش روی پاسخ لرزه ای روسازه های قطعه ای پیش تنیده که در کنار سایر بحث های مطرح شده، اثر مولفه قائم نیز بررسی گردید. نتایج آن حاکی از آن بود که تاندون های پیش تنیده در بالای پایه های یکی از پل ها تحت تاثیر خمش مثبت تسلیم می شوند. لنگر خمشی مثبت میانی نیز به علت حضور مولفه قائم ۴۰۰ درصد افزایش نشان داد. در تحقیقی نیز با در نظر گرفتن پارامترهایی از پل های معمولی استاندارد از قبیل طول دهانه ها و دوره تناوب طبیعی سازه و به وسیله تحلیل تاریخچه زمانی اثر مولفه قائم را مورد بررسی قرار دادند ، نتایج این تحلیل های غیر خطی نشان داد که بسیاری از آیین نامه ها و به طور ویژه آیین نامه مورد بحث یاد شده Caltarns2006 در این زمینه دارای کفایت لازم نیستند.

هدف از انجام این پژوهش ، بررسی میزان دقت و نتیجه گیری ضوابط آیین نامه ایران در مورد مولفه قائم زلزله می باشند که برای این امر مقایسه ای بین نتایج حاصل از تحریکات صرفا افقی و تحریکات توام قائم و افقی صورت پذیرفت. از آنجا که هدف، صرفا بررسی احتمالی آسیب پذیری پل های بزرگراهی در اثر نادیده گرفتن مولفه قائم در طراحی آن ها می باشد، با توجه به تفاوت میان رفتار های خطی و غیر خطی سازه ها ، به نتایج حاصل از رفتار خطی اکتفا شده است.

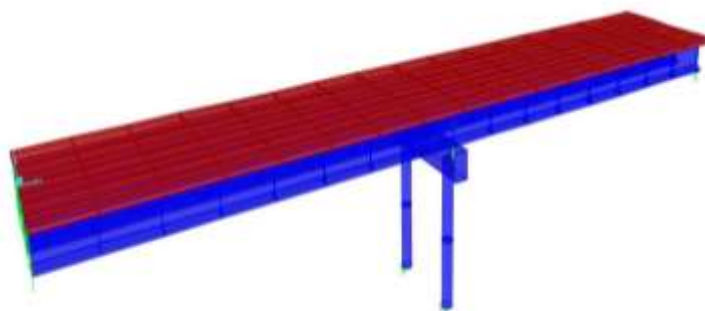
تجزیه و تحلیل داده های پژوهش

نحوه مدلسازی نهایی

نحوه مدلسازی همانند قسمت قبلی و مدل اولیه پژوهش بوده و قسمت هایی که شامل اختلاف و یا مراحل اضافه می باشد همراه با عکس و توضیحات ارائه خواهد شد که شامل بارگذاری در محل طره و تیرهای بتنی می باشد و بار گذاری مابقی قسمت های پل، همانند مرحله قبل انجام خواهد شد.



شکل ۸. مدلسازی قبل اعمال بار قائم



شکل ۹. حجم دادن به مدل سازی و نمای کل پروژه

محاسبات دستی قسمت بارگذاری

مطابق بندهای آیین نامه پروژه ی ثانویه شامل اعمال بار قائم در دو قسمت می باشد ، بار گذاری در دو قسمت طره ی ۱/۲ متری و همچنین تیر بتنی ۲۴ متری ، برای بار قائم محاسبه می گردد. همچنین لازم به ذکر است که بار خطی جانپناه و سایر قسمت های دیگر همانند مدل سازی قبلی محاسبه و به نرم افزار اعمال می گردد.

طره :

این قسمت به صورت بار خطی در دو طرف عرشه اعمال می گردد.

$$F_{v1} = 1.4AIW_p$$

$$W_p = 1.2 \times 0.2 \times 2500 \frac{kg}{m^3} = 600 kg/m$$

در هر سمت راست و چپ عرشه

$$F_{v1} = 1.4 \times 0.35 \times 1.2 \times 600 = 352.8 kg/m$$

برای دو طره

شاهتیر بتنی :

$$F_{v2} = 0.7AIW_p$$

$$A = 0.5287 m^2$$

سطح مقطع شاهتیر بتنی با توجه به نمونه سازی آن در برنامه اتوکد

$$W_p = 0.5287 \times 2400 \frac{kg}{m^3} = 1268.88 kg/m$$

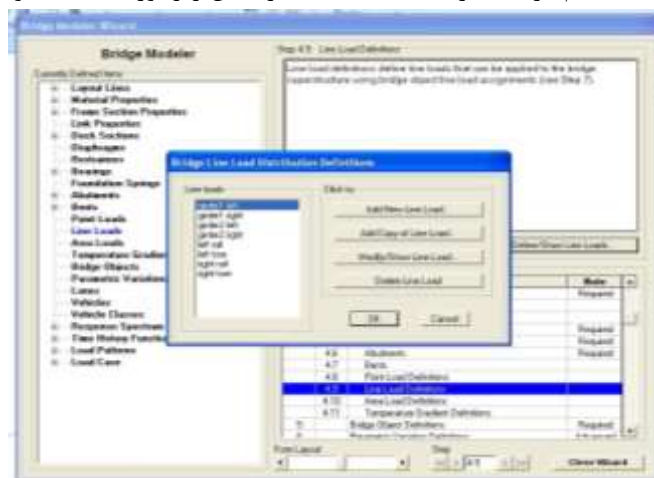
در هر شاهتیر بتنی که دو طرف چپ و دو طرف راست

$$F_{v2} = 0.7 \times 0.35 \times 1.2 \times 1268.88 = 353.05 kg/m$$

برای ۴ شاهتیر بتنی

بارگذاری قائم در نرم افزار بریدج

بارهایی که به علت حضور مولفه ی قائم در مدل سازی لحاظ شده اند در شکل زیر آورده شده اند و شامل :



شکل ۱۰. تمامی بارهای اعمال شده در جهت قائم

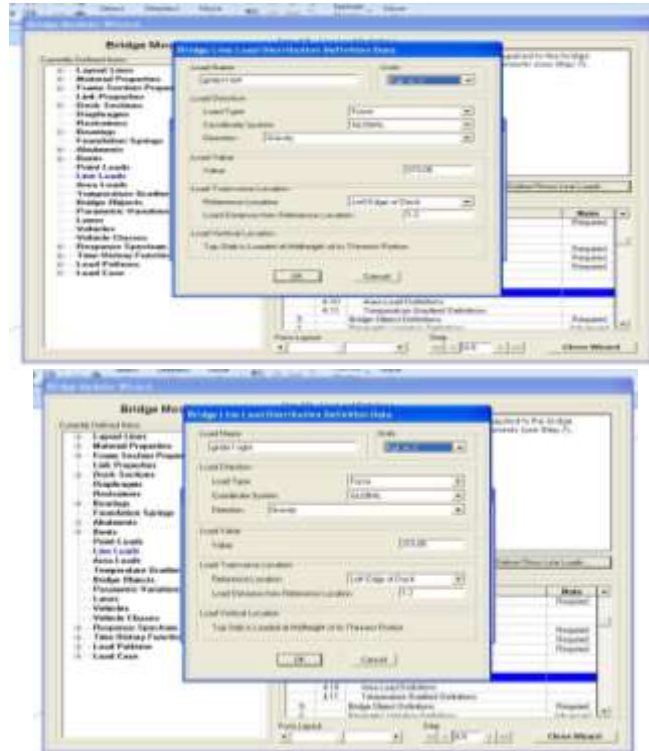
-بار سرستون ها ۲ و ۱ از سمت راست مدل

- بار سرستون های ۱ و ۲ از سمت چپ مدل

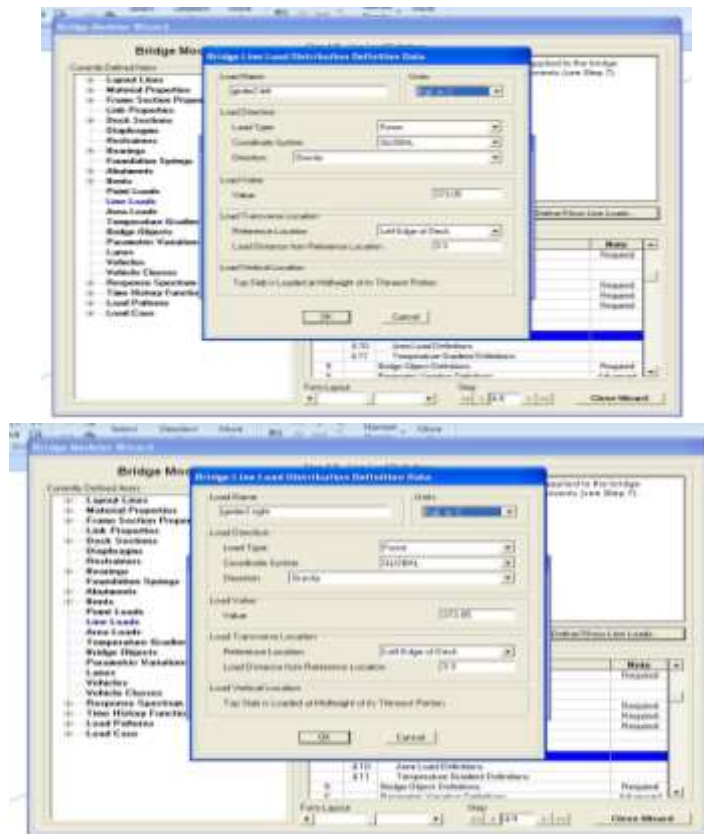
- بار طره ی راست

- بار طره ی چپ

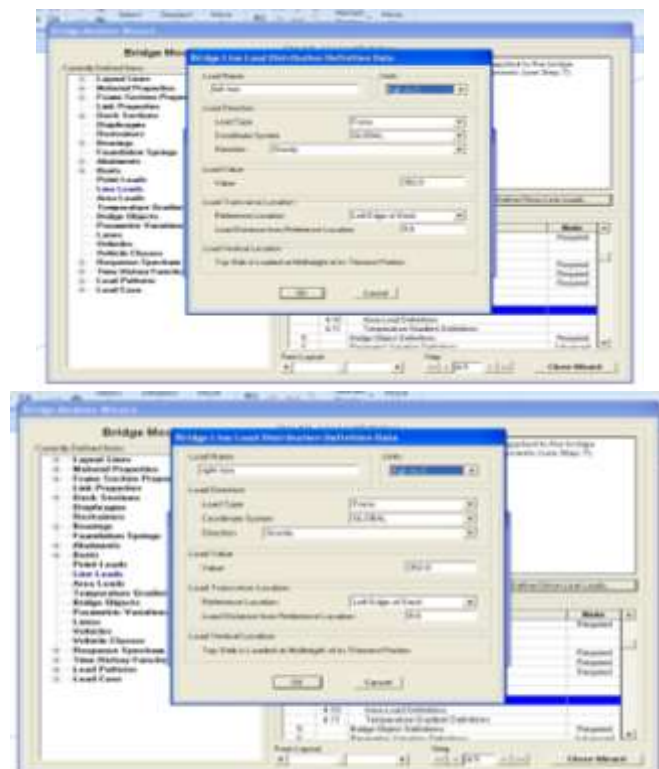
و بار های جانبی که در مدلسازی اولیه نیز اعمال شده بود و بار مرده ی خود سیستم سازه ای پل و متعلقات آن.



شکل ۱۱. نحوه اعمال بار شاهتیر ۱ از چپ مدل شکل ۱۲. نحوه اعمال بار شاهتیر ۱ از سمت راست

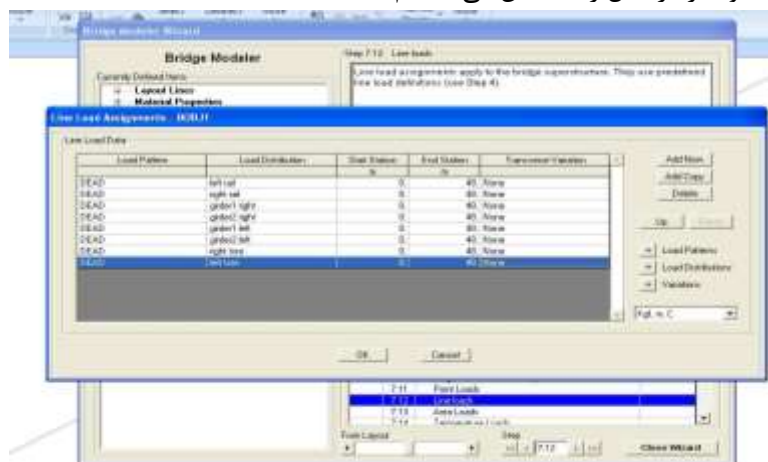


شکل ۱۳. نحوه اعمال بار شاهتیر ۲ از چپ مدل شکل ۱۴. نحوه اعمال بار شاهتیر ۲ از سمت راست



شکل ۱۵. نحوه ی اعمال بار کنسول سمت چپ به مدل شکل ۱۶. نحوه ی اعمال بار کنسول سمت راست به مدل

حال بار های قائم را تعریف کرده و میبایست آن ها را در هندسه ی پل و ابتدا و انتهای آن ها رامشخص نماییم ، مطابق شکل ابتدا و انتهای بار ها را و نحوه اثر در مدل را مشخص می نماییم.



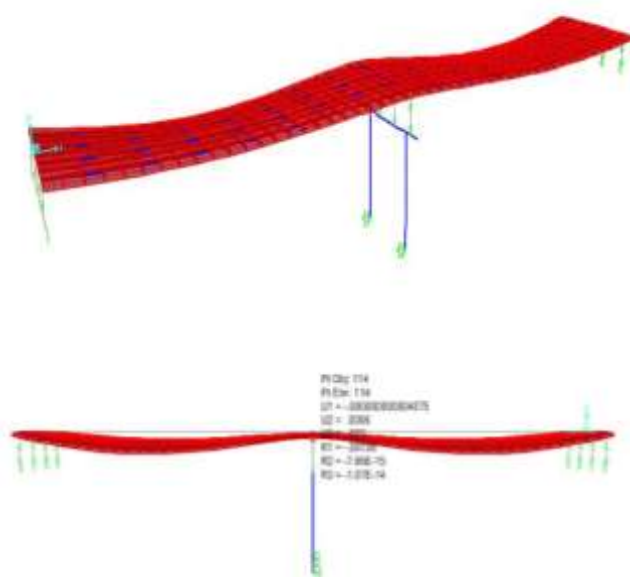
شکل ۱۷. اعمال بار ها به مدل

نحوه اعمال کل بار های قائم که طبق بسط آیین نامه به عنوان بار قائم و در جهت ثقلی به مدلسازی اعمال می گردند و محدوده اثر این بار ها که در مدل چون به صورت خطی می باشند از ابتدا تا انتهای پروژه مد نظر می باشند. در شکل زیر نیز نمای تجمیعی کلیه بار های قائم به رنگ صورتی که در کل مدل پراکنده می باشند، مشاهده می شود. این بار ها شامل بار شاهیتر ها (شامل ۴ عدد) و بار های کنسولی (طره ی ۲ طرف) و بار جانپناه و مرده می باشد. به روز رسانی و اجرای نرم افزار بعد از بارگذاری

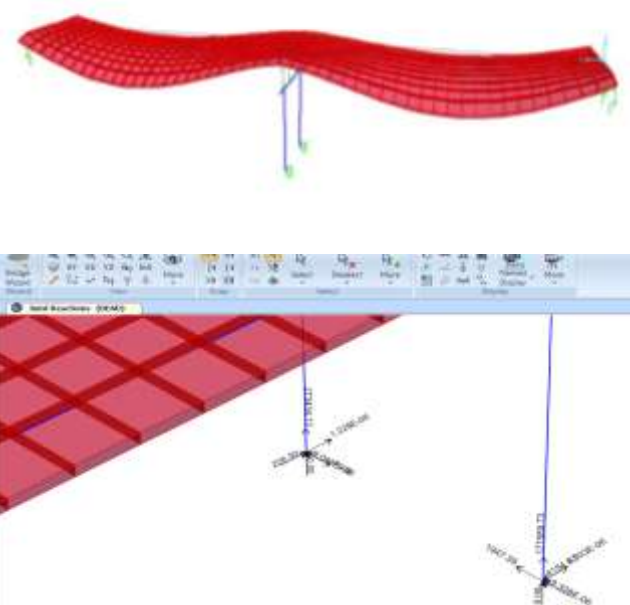


شکل ۱۸. بار های قائم اعمالی به پروژه

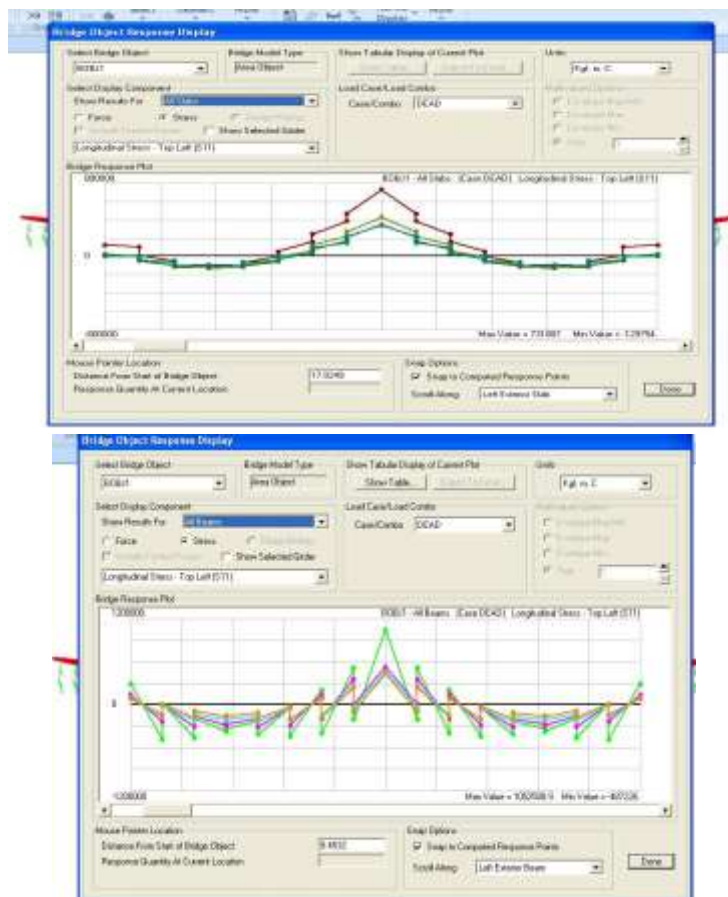
حال در این مرحله در منوی **Analyze** ، بر روی آیکن **Run** کلیک کرده و بعد از غیر فعال کردن تحلیل مودی به علت اینکه مدلسازی اولیه نیز بصورت مودی تحلیل نشده است ، گزینه ی **Run** را می زنیم و نتایج آن به صورت تغییر شکل و یا **Drift** و یا شکست در نمونه پدیدار خواهد شد.



شکل ۱۹. نمای کلی پل بعد از Run کردن برنامه
شکل ۲۰. نیروهای وارد شده به قسمت تکیه گاهی در هنگام حضور مولفه ی قائم



شکل ۲۱. تغییر شکل عرشه ی پل
شکل ۲۲. عکس العمل نیروهای پای ستون دهانه ی میانی



شکل ۲۳. منحنی تنش دال در مدلسازی با حضور مولفه ی قائم زلزله شکل ۲۴. منحنی تنش شاهیترها در مدلسازی
با حضور مولفه ی قائم زلزله
حال مدلسازی نهایی ما با توجه به بسط آیین نامه به پایان رسیده است.

نتیجه گیری

با توجه به هر ۶ مدلسازی انجام شده در سه گروه استاتیکی و دینامیکی طیفی و دینامیکی تاریخچه زمانی جدول زیر به دست می آید.

جدول ۲. تاریخچه زمانی

نام روش	عامل	درصد تغییرات	توضیح
استاتیکی	P	*	***
	V2	۱۹	عادی
	M3	۲۰	عادی
	T	*	***
دینامیکی طیفی	P	*	***
	V2	۱۹	عادی
	M3	۱۹	عادی
	T	۱۵۷	بحران
دینامیکی زمانی	P	*	***
	V2	۱۵	عادی
	M3	۷۳ مثبت	بحران
	T	۱۰۲ منفی	بحران

در نتیجه در مدلسازی دینامیکی طیفی در پیچش کلی مدل دارای ۱۵۷ درصد تغییر در هنگام حضور مولفه ی قائم زلزله می باشیم که وضعیت سازه را بحرانی می گرداند.

همچنین در مدلسازی دینامیکی تاریخچه زمانی نیز با طیف کسینوسی اعمال شده در هر دو مدل هم در لنگر افقی M3 دارای ۷۳ درصد تغییر در قسمت مثبت ممان و در پیچش دارای ۱۰۲ درصد تغییر اضافه در قسمت منفی می باشد که این دو عامل سبب بحرانی شدن وضعیت سازه ای می گردند.

نتیجه ی اصلی این می باشد که برای اثر مولفه ی قائم و نتیجه ی دقیق نمی توان از روش معادل آیین نامه ای که همان روش استاتیکی می باشد استفاده نمود و باید از روش های دینامیکی برای افزایش دقت استفاده نمود.

در مدلسازی دینامیکی با همون شرایط سازه اولیه، مدل دچار Fail و در مواقعی Collapse می گردد.

همانطور که در جدول مشخص می گردد روش طیفی و تاریخچه زمانی در هنگام عدم و حضور مولفه ی قائم دارای پارامتر های بحرانی می باشد که برای این منظور می بایست در هنگام مدلسازی سازه ی پل از روش تاریخچه زمانی و یا طیفی عمل نمود، زیرا روش استاتیکی فاقد دقت لازم برای اعمال مولفه ی قائم زلزله می باشد.

تغییرات نیروی محوری پایه ها در اثر مولفه ی قائم شتاب زلزله ، اولاً سختی ستون ها را تغییر می دهد (نیروهای فشاری باعث کاهش سختی و نیروهای کششی باعث افزایش سختی می شود) و این امر باعث تغییر جذب نیروی جانبی ستون می شود ، ثانیاً باعث تغییر ظرفیت برشی مقاطع بتن مسلح می شود، (نیروی محوری فشاری باعث افزایش و نیروی کششی باعث کاهش ظرفیت برشی می گردد)

در پایه های بلند اثر تخریبی توام با حضور مولفه های قائم در پایه های میانی قابی شکل به مراتب بیشتر از پایه های کناری یا همان کوله ها می باشد ، به همین منظور پایه های مدلسازی را زیر ۱۰ متر در نظر گرفتیم تا صرفاً اثر مولفه ی قائم زلزله در کل اجزای پل قبل از شکست مشاهده گردد.

نتایج حاصل از تحلیل ها نشان می دهد که در ستون های پلهای با سیستم یکپارچه و قابی شکل ، تنش محوری تحت اثر مولفه ی قائم زلزله می تواند تا ۴۰ درصد بار مرده افزایش یا کاهش داشته باشد.

همچنین در عرشه نیز تنش محوری ناشی از مولفه قائم می تواند تا ۴۰ درصد بار مرده برسد.

ضریب ۴۰ درصد در مورد تنشهای برشی هم اتفاق می افتد.

در مورد تغییر شکل ها ، همانطور که در قسمت مقایسه گفته شد بزرگترین تغییر شکل ها مربوط به تغییر شکل افقی در عرشه می باشد، لذا نتایج نشان می دهد که مولفه قائم نمی تواند در مورد تغییر شکل ها اثر مهمی داشته باشد.

بنابراین با توجه به نتایج ذکر شده پیشنهاد می گردد که در ترکیب های بار گذاری آیین نامه ای مختلف، در ترکیب بار گذاری های مربوط به زلزله ، ضریب 1/4DL و 0/6DL برای در نظر گرفتن اثر مولفه قائم زلزله در اینگونه پلها در نظر گرفته شود.

همچنین از مشاهدات عملی زلزله هایی که دارای مولفه قائم بوده اند ، مشاهده می شود که گستردگی ترکها در اثر مولفه ی قائم زلزله بیشتر شده است و همچنین عرض ترک ها نیز افزایش پیدا کرده است.

مشاهده می شود که در نظر گرفتن درصدی از بار مرده هم مطابق بسط آیین نامه موجود هم برای لحاظ کردن اثر مولفه ی قائم نیز دارای خطا می باشد، چرا که مشخص کردن مقدار خاصی که بتواند جایگزین اثر مولفه ی قائم شود با توجه به محتوای زلزله و فاصله از منبع و سایر پارامترها مشکل بوده و علاوه بر آن مشاهده می شود که تلاشهای سازه ی پل با افزایش بار مرده ی جایگزین به نسبت اثر مولفه ی قائم به طور صحیحی تغییر نمی یابد و دارای خطای نسبی می باشد ، و با تغییرات تلاشهای ناشی از مولفه ی قائم همسو نمی باشد.

به عبارت دیگر افزایش در صد بار مرده برای رساندن مثلاً نیروی محوری ستون پایه به مقادیر ناشی از اثر مولفه ی قائم ، باعث نمی شود که سایر تلاشها نیز به مقادیر واقعی اثر مولفه ی قائم نزدیک شود و امکان دارد که حتی بعضی از این تلاشها از مقادیر واقعی نیز دورتر شوند ، که حال مناسبترین و بهترین روش مخصوصاً در حوضه نزدیک گسل که مولفه ی قائم زلزله

دارای پرید کوتاه می باشد ، استفاده از رکورد یا طیف زلزله می باشد و اطمینان این روش از آن جهت نیز بالاتر می باشد که زلزله ی واقعی اتفاق افتاده می باشد که آثار آن نیز قابل مقایسه می باشد.

در جدول زیر نیز دو مورد زلزله های داخلی و دو مورد خارجی با ذکر جزئیات و فاصله از گسل و شتاب و مدت زمان وقوع و نسب مولفه افقی به قائم آورده شده است.

همانطور که مشاهده می شود زلزله های چی چی و طبس دارای مولفه قائم بزرگتری به نسبت مولفه ی افقی می باشند و در چهار مورد زمین لرزه نیز نسبت V/H بالاتر از $2/3$ می باشد و فاصله تا گسل نیز زیر ۲۵ کیلومتر می باشد.

جدول ۳. جزئیات زمین لرزه های دارای مولفه قائم

رکورد	ایستگاه	فاصله از گسل (کیلومتر)	بیشینه شتاب			مدت زمان (ثانیه)	نسبت V/H
			طولی	عرضی	قائم		
بم	Bam	کمتر از یک	۰/۸۱۵	۰/۴۴۹	۱/۰۰۸	۱۱۵	۱/۲۳۷
طبس	9101 Tabas	۳	۰/۸۵۳	۰/۸۳۶	۰/۶۸۸	۳۲/۸	۰/۸۰۷
لور تریج	Arlena - Nordhoff Fire	۹/۲	۰/۳۴۶	۰/۳۰۸	۰/۵۲۲	۳۹/۹۶	۱/۶۰۵
چی چی	CHY080	۶/۹۵	۰/۹۶۸	۰/۹۰۲	۰/۷۲۴	۵۰	۰/۷۰۴

حال اگر طبق بند آیین نامه از مولفه قائم زلزله به طور کامل صرف نظر گردد ، اثر این مولفه خود را در مواقع بحرانی و وقوع زمین لرزه ها، در خرابی ها و تلفات جانی و مالی و.... خود را نشان می دهد.

با توجه به افزایش احتمال شکست با منظور شدن مولفه ی قائم ، فرض عدم در نظر گیری تکان های قائم در طراحی پلها که توسط آیین نامه ی ایران نیز مطرح شده است، باید به ویژه برای سازه هایی که در نزدیکی گسل های لرزه خیز واقع شده اند ، تغییر یابد و تجدید نظر گردد و این اثرات برای پلها ، میبایست پس از انجام مطالعات بیشتر با استفاده از راهکارهای مناسب منظور گردد.

منابع

۱. آیین نامه طرح پلهای راه و راه آهن در برابر زلزله ، نشریه شماره ۴۶۳.
۲. "آیین نامه طرح پلهای شوسه و راه آهن در برابر زلزله " مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، نشریه 235 ، تابستان 1376
۳. "آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، نشریه ض 253 ، آذر 1378
۴. آیین نامه بارگذاری پلها ، نشریه ۱۳۹ ، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور ۱۳۷۹
۵. اثر مؤلفه قائم زلزله بر روی پلهای بزرگراهی بتن آرمه پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال پانزدهم، شماره اول، بهار 31 91
۶. بررسی رفتار لرزه ای پلهای مورب دو دهانه بتنی ، مهدی پور نداف حقی ، پایان نامه کارشناسی ارشد، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ، ۱۳۸۵
۷. حسینیو محمود ، تفرسی طاوسی . شهریار ، "ارزیابی آسیب پذیری پل مسطح چند دهانه تحت اثر مولفه افقی و قائم زمین لرزه "تهران : پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷۶
۸. شرفیان ، آرش و فاتحی دینارلو ، علی اکبر. (۱۳۹۲). اثر مولف قائم نیروی زلزله بر سازه های بتنی ، پنجمین کنفرانس ملی سالانه بتن ایران، مهرماه ۱۳۹۲ ، تهران
۹. عباداله زاده ،محمد رضا و مالک ،شاهرخ و امین فر ، محمد حسین ، (۱۳۸۷) ، اثر مولفه قائم زمین لرزه بر روی عرشه پلهای پیش تنیده با ساخت طره ای در اندرکنش با رفتارهای تابع زمان مصالح، مجله دانشکده فنی جلد ۳۸ شماره ۳ ، زمستان ۱۳۸۷ ، تهران
۱۰. فضه ، مضر و محرمی ، حمید. (۱۳۹۰). بررسی اثر مولف قائم بر روی پلهای راه آهن دو دهانه در نواحی نزدیک گسل ، ششمین بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، اردیبهشت ۱۳۹۰ ، تهران

۱۱. گرامی، محسن و پورمیدانی، ابراهیم و سیوندی پور، عباس. (۱۳۹۱). بررسی اثر مولفه های قائم زلزله های نزدیک گسل بر عملکرد لرزه ای ساختمان های بتنی، اولین کنفرانس ملی صنعت بتن، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، خرداد ۱۳۹۱، تهران
۱۲. مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث دهم، طرح و اجرای ساختمان های فولادی، نشر توسعه ایران، تهران، ۱۳.
۱۳. مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث نهم، طرح و اجرای ساختمان های بتنی، نشر توسعه ایران، تهران، ۱۳.
۱۴. مظفری جویباری، یاسر و محمودی، یاسر، (۱۳۹۱)، بررسی اثر مولفه قائم زلزله های حوزه نزدیک روی سازه ها، دومین کنفرانس ملی سازه-زلزله-ژئوتکنیک، آذر ۱۳۹۱، مازندران
۱۵. نشریه شماره ۳۹۵ طراحی پل های فولادی.
۱۶. نشریه شماره ۳۸۹ طراحی پل های بتنی.
17. L.Sun, Y.Goto, H.Hayashi, K.Kosa, 2000, Damage Mechanis Analysis of R.C.Bridge by Nonlinear Dynamic Simulation, 12WCE
18. Ambraseys N, Douglas. J, " Reappraisal of effect of vertical ground motion response" ESEE Report NO. 4, August 2000
19. ATC 32-1(Applied Techonology Council),Improved Seismic Design Criteria for California Bridges.
20. AASHTO(American Association of State Highway and Tranportation Officials ,Guide Specification for Seismic Design of Highway Bridges,1997
21. AASHTO. (1996).“Standard specifications for highway bridges, 16th ED. “Washington. D.C
22. Kazashiko Kawashima,(2000),”Siesmic design and retrofit of bridge”, 12WCEE.
23. Kunnath, S.K., Erduran, E., Chai, Y.H., and Yashinsky, M. (2008). Effect of near-fault vertical ground motions on seismic response of highway overcrossings, *J. Bridge Engineering*, 13(3), 282-290.
24. M. Ala. Saadeghvaziri and D. A. Foutch “ Nonlinear Response of RC Highway Bridges Under the Combined Effect of Horizontal and Vertical Earthquake Motion “Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Vol. 20, No 6, June 1991
25. Martin R. Button, PE. ,M.ASCE ;Colman J. Cronin ; and Ronald L. Mayes, M.ASCE “ Effect of Vertical Motion on Seismic Response of Highway Bridges “Journal of Structural Engineering , Vol 128, No 12, December 2002
26. Machida .A, "Effect of vertical motion of earthquake failure mode and ductility of RC bridge piers" 12WCEE, Paper NO. 463, 2000.
27. Broekhuizen (1996) “Effect of Vertical Acceleration on Prestressed Concrete Bridges “ MS thesis, Univ. of Texas at Austin, Tex.
28. Yan Xiao and Asad Esmaeily-G. (1999). “Seismic Behavior of Reinforced Concrete Coloumns Subjected to Variable Axial Loads “USC Structural Engineering Research Report
29. R.button, M;J.Cronin, C;;Effect of Vertical Ground Motions on The Structural Response of Highway Bridges ,MCEER Report NO.99, April 1999
30. Silva, W.J. (1997). Characteristics of vertical ground motions for applications to engineering design, *Proc., FHWA/NCEER Workshop on the National Presentation of Seismic Ground Motion for New and Existing Highway Facilities*, Tech. Rep. No. NCEER-97-0010, National Center for Earthquake Engineering Research, State Univ. of New York at Buffalo, N.Y., 205-252.
31. Saadeghvaziri M.Ala & Foutch D. A "Behavior of RC column under no proportionally varying axial loads" Journal of Structural Engineering, VOL. 116, No.7, July 1990
32. Saadeghvaziri, M.A. and Foutch, D.A. (1991). Dynamic behavior of R/C highway bridges under the combined effect of vertical and horizontal earthquake motions, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 20, 535-549.
33. Aryan H , Ghassemieh M., ۲۰۱۳ ” Thorough investigation of vertical seismic excitation effects on a high detailed bridge”. International Conference Civil

Engineering Architecture & Urban Sustainable Development 18&19 December 2013, Tabriz, Iran

34. Yu. C. P., Broekhuizen. D. S., Roeset, J. M., Breen, J. E., and Kreger, M. E. (1997)
35. Yan Xiao and Asad Esmaily-G. (1999). “ Effect of Variable Axial Load on Seismic Behavior of Bridge Piers “ USC Structural Engineering Research Report. No.USCSERP 99/01, October 1999.