مجله علمی – پژوهشی
عمران مدرس
دوره شانزدهم، شماره ۱، فروردین ۱۳۹۵

بررسی آثار مؤلفه قائم زلزله‌های نزدیک و دور از گسل بر پل سه دهانه راه آهن

مضر فضه[۱]، دکتر حمید محرمی*[۲] و دکتر فرهاد دانشجو[۳]

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس
۲- دانشیار مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس
۳- استاد مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس

hamid@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۲/۱۱/۱۹] **تاریخ پذیرش: [۱۳۹۳/۶/۲۳]**

چکیده: اندازه گیریهای حرکات زمین در طول زمین لرزه های گذشته نشان می‌دهد که شتاب قائم زلزله می‌تواند 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. مقاله حاضر اثر مؤلفه قائم زلزله را روی پل های راه آهن جعبه ای شکل سه دهانه مورد بررسی قرار داده است. نتایج تحلیلها روی پل‌ها، یکبار با در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم و بار دیگر بدون در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم انجام شد و نتایج تحلیلها در دو حالت مقایسه شدند.

نتایج نشان می‌دهد تغییر میزان تقاضای نیروی محوری ستون، تقاضای گشتاور موجود در وسط عرشه و تقاضای گشتاور در محل اتصال عرشه به ستون به طور قابل ملاحظه‌ای به وسیله حرکات قائم زلزله تشدید می‌شوند. همچنین در تحلیل‌های خطی ملاحظه گردید که اثر مؤلفه قائم زلزله روی سازه را می‌توان به صورت جدا و مستقل از اثر مؤلفه‌های افقی در نظر گرفت. نتایج بدست آمده، با نتایج حاصل از اعمال ضوابط SDC-2006 که برای منظور کردن اثر شتاب قائم زلزله ضریبی از بار مرده را بر سازه اعمال می‌کند، مقایسه شده است. در نهایت برای در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم زلزله، اعمال ضرایبی روی بارمرده در طراحی پل پیشنهاد شده است.

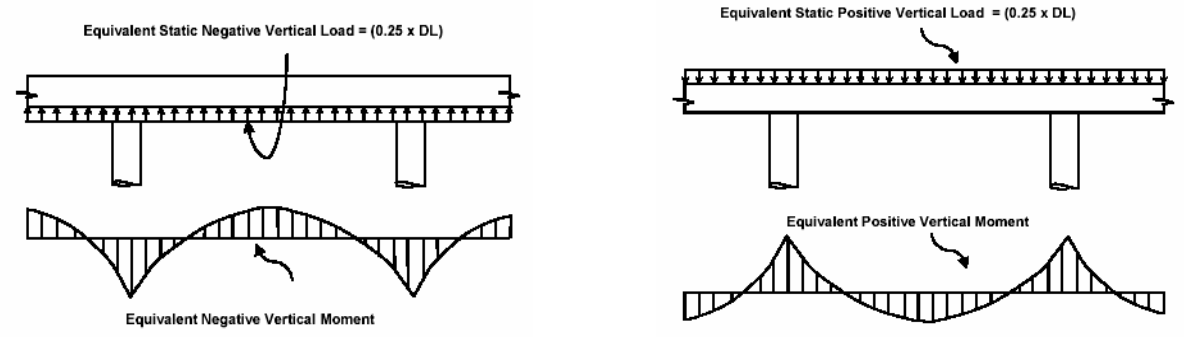
واژه‌های کلیدی: پل راه آهن؛ مؤلفه قائم زلزله؛ تحلیل دینامیکی؛ رکورد نزدیک گسل: رکورد دور از گسل.

۱- مقدمه:

اغلب آیین نامه های طراحی پل در بحث تحلیل لرزه ای پلها، یا اثر مؤلفه قائم زلزله را در نظر نمیگیرند و یا روش مشخصی برای در نظر گرفتن مؤلفه قائم زلزله ارائه نمیدهند. با این حال بررسی زلزله های چند دهه اخیر نشان می‌دهد که اثر مؤلفه قائم زلزله می‌تواند در برخی موارد از عوامل اصلی تخریب پلها باشد.

بسیاری از محققین برای در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم زلزله، آن را به صورت ضریبی از طیف مؤلفه افقی زلزله (V/H) معرفی نموده‌اند. تحقیقات نشان داده است که این نسبت در فاصله دور از گسل محافظه کارانه ودر فاصله نزدیک گسل وپریودهای کوتاه، دست پایین می‌باشد [۱،۲]. همچنین در آیین نامه کالیفرنیا SDC-2006 [۱۳] برای منظورکردن اثر شتاب قائم زلزله در پل‌های استاندارد معمولی یک بار گذاری قائم برابر با ۲۵ در صد بار مرده به سمت بالا وپایین باید بر سازه پل اعمال شود (شکل۱)، در این مقاله اثر مؤلفه قائم زلزله با نتایج آیین نامه SDC-2006 مقایسه شده است.

اولین مطالعات تحلیلی در مورد اثر مؤلفه قائم زلزله روی پلها توسط Saadeghvaziri و Feutch انجام شد [٤]. ایشان در تحلیل های خود از یک مدل المان محدود که قادر به مدل کردن رفتار غیر خطی ستون های بتنی است استفاده کردند و با مدل سازی سه بعدی روی هشت پل نشان دادند که نیروی محوری متغیر در ستون ها موجب بوجود آمدن باریک شدگی منحنی هیستریزیس (Pinched Hysteresis) می‌شود.



شکل ۱ بارها ولنگرهای قائم معادل استاتیکی

همچنین نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که در حرکات زلزله با شتاب حداکثر موثرEPA، 0.49g و کمتر، آسیب اضافی که بوسیله مؤلفه قائم ایجاد می‌شود کم است، در حالیکه برای حرکات زلزله با EPA برابر0.7g وجود مؤلفه قائم موجب آسیب های بیشتر و قابل توجه می‌شود.

Elnashai Elnashai در بررسی تعداد زیادی از گسیختگیهای مشاهده شده در پلها طی زلزله های کوبه و نورثریج نتیجه گرفت که خرابی اکثر ستونها به علت افزایش نیروی محوری حاصل از مؤلفه قائم زلزله بوده است [۵]. نتیجه مطالعات نشان می‌داد که عامل اصلی خرابیها عبارت بودند از: گسیختگی فشاری که بصورت کمانش آرماتورهای طولی به سمت خارج روی داده بود و گسیختگی آرماتورهای عرضی به همراه خرد شدن بتن در وسط ارتفاع پایه های پل. بعلاوه مشاهدات نشان می‌داد که گسیختگی فشاری در ناحیه هایی از پایه که آرماتورهای طولی قطع شده باشند و نیز نواحی که تمرکز تنش (به علت کاهش سطح مقطع) وجود دارد، شروع می‌شد.

Yu و همکاران روی تأثیر شتاب قائم زلزله بر پلها مطالعات پارامتری انجام دادند و اثر شتاب قائم زلزله را روی یک پل بررسی کردند [٦]. تحقیقات این گروه بیشتر روی اثر شکل هندسی پل و تأثیر مؤلفه قائم زلزله روی آن متمرکز بود. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که اثر مؤلفه قائم برای پلهای با دهانه بزرگ و ارتفاع محدود ستون (معمولاً ستونهای کوتاه) می‌تواند مهم باشد و این مسأله در مورد تکیه گاههای کناری بحرانی تراست.

Xiao و Esmaeily شش ستون را با مقیاس ۱:٤ تحت بارگذاری‌های مختلف آزمایش کردند [۷]. نتایج آزمایشها نشان می‌دهد که افزایش در مقدار بار محوری فشاری موجب افزایش ظرفیت خمشی شده ولی شکل پذیری را کاهش می-دهد همچنین این گروه نشان دادند که لنگر شکست حد اکثر تحت بار محوری متغیر، کمتر از مقدار پیش بینی شده در روابط است.

Button و Cronin در تحقیق خود اثر مؤلفه قائم زلزله را روی شش پل با سیستمهای استاتیکی مختلف بررسی کردند [۸] . تحقیق ایشان شامل تحلیلهای طیفی خطی و تحلیلهای تاریخچه زمانی خطی و غیرخطی بود. بر اساس نتایج حاصل از تحلیلهای خطی و غیرخطی، این گروه پیشنهادهایی برای نحوه وارد کردن اثر مؤلفه قائم زلزله در ترکیبهای بارگذاری (موقعیتی که اثر مؤلفه قائم زلزله باید در نظر گرفته شود) ارائه کردند.

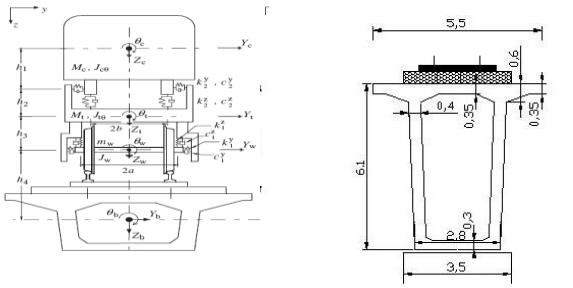
رهایی و دلنواز تحقیقاتی را روی یک مدل پل قابی شکل پیش تنیده انجام دادند [۹]. اثر مؤلفه قائم با تحلیل پل تحت سه شتاب نگاشت واز طریق تحلیل‌های تاریخچه زمانی خطی، غیر خطی و طیفی روی مدل‌های سه بعدی وکامل بررسی شده است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که برای بستر های خاکی وفاصله از گسل تا ۲۰ کیلومتر، در محدوده پریود های ۰/۰۲ تا ۰/۱۵ ثانیه برای زلزله‌های با بزرگی بیشتر از ۵/۵ ریشتر ممکن است نسبت V/H از ۱ بزرگتر شود. و برای بسترهای سنگی با فاصله از گسل تا ۱۰ کیلومتر، در محدوده پریودهای ۰/۰۳ تا ۰/۰۱ ثانیه، برای زلزله‌های با بزرگی بیشتر از ٦/۵ ریشتر ممکن است نسبت V/H از ۱ بزرگتر شود. ایشان نشان دادند که افزایش بار محوری فشاری ستون موجب افزایش ظرفیت خمشی می‌شود، ولی شکل پذیری را کاهش می‌دهد.

Kunnath و همکاران با تحلیل های دینامیکی شامل تحلیلهای طیفی خطی وتحلیل تاریخچه زمانی خطی وغیر خطی روی شش پل نشان دادند که به وسیله حرکات قائم زلزله نزدیک گسل تقاضای نیروی محوری موجود در ستون وتقاضای گشتاور ممان موجود در وسط دهانه به طور قابل ملاحظه ای تشدید می‌شوند [۱۰].

هدف مقاله حاضر بررسی اثر مؤلفه قائم زلزله بر پاسخ پل های راه آهن جعبه ای شکل وتعیین پارامترهای مؤثر در تشدید این اثرات است، به علاوه ضرایبی روی بار مرده برای لحاظ کردن اثر بار قائم زلزله در طراحی پل، پیشنهاد شده است. به این منظور تحلیلهای دینامیکی خطی و غیرخطی روی مدلها، یکبار با در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم و بار دیگر بدون در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم انجام شد و نتایج تحلیلهای دینامیکی در دو حالت مقایسه شدند.

۲- مدل مورد مطالعه

به منظور بررسی اثر مؤلفه قائم زلزله روی پاسخ پل‌های راه آهن جعبه‌ای شکل، چند مدل مشتمل بر سه پل سه دهانه باعرشه جعبه‌ای شکل و مقطع متغیر، طول دهانه میانی ۶۰،۷۰،۸۰ متر و دهانه‌های کناری به ترتیب ۳۰، ۳۵ و۴۰ متر مورد بررسی قرار گرفت. مقطع عرشه این نوع پلها از قطعات جعبه‌ای پیش ساخته بتنی به طول ۲/۴ متر وعرض ۵/۵ متر ساخته شده است که در مجاورت همدیگر قرار می‌گیرند و با پیش تنیدگی به صورت طره‌ای اجرا می‌شوند. شکل (۱) مشخصات هندسی سطح مقطع عرضی عرشه پل بادهانه میانی۸۰ متر و دهانه کناری ۴۰ متر مطابق پل Beijing–Shanghai high-speed railway در چین را نشان می-دهد [۱۱]. ستون‌ها همگی دارای مقطع ثابت مستطیل شکل با ابعاد ۳/۵b با فولادهای مسلح کننده عرضی می‌باشد. b عرض ستون است که متناسب با طول دهانه تعیین می‌شود. ارتفاع ستون‌ها ۸ متر در نظر گرفته شده است، ستون‌ها در انتهای فوقانی به صورت غلطکی به عرشه متصل می‌شوند، و در انتهای تحتانی متکی بر پی‌های صلب فرض می‌شوند و از اندرکنش خاک و سازه صرف نظر می‌شود.



(الف) (ب)

شکل ۲ مقطع عرضی پل Beijing-Shanghai high-speed:
(الف) سطح مقطع عرضی در تکیه گاه
و (ب) سطح مقطع عرضی در وسط دهانه

۳- محرک ورودی در آنالیز دینامیکی

در مجموع هفت شتابنگاشت حوزه نزدیک و هفت شتابنگاشت حوزه دور به عنوان محرک ورودی در آنالیز دینامیکی پل‌ها استفاده شده است. جداول (۱ و۲) مشخصات این زلزله‌ها را نشان می‌دهد.

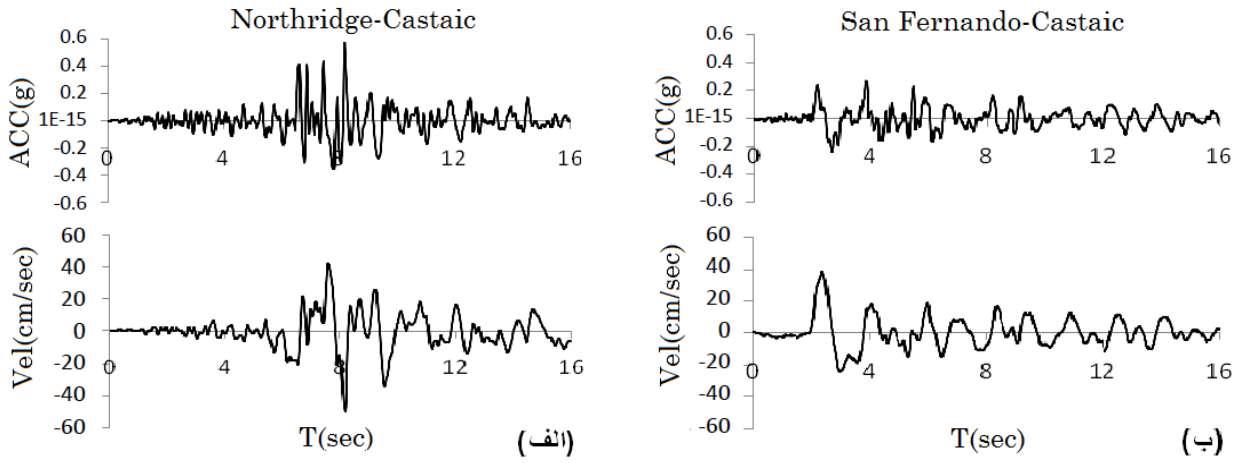
با توجه به اینکه یکی از مشخصات نگاشت‌های حوزه نزدیک وجود پالس‌های پریود بلند در تاریخچه زمانی آنهاست، در انتخاب این نوع نگاشت‌ها سعی شده است که این خصوصیت وجود داشته باشد. بعنوان نمونه در شکل (۳) تاریخچه زمانی شتاب وسرعت نگاشت در ایستگاه Castaic برای زلزله Northridge بفاصله حدود ۲۰ کیلومتر و نگاشت‌های شتاب وسرعت در ایستگاه Castaic برای زلزله San Fernando به فاصله بیش از ۳۰ کیلومتر نشان داده شده است. وجود پالس پریود بلند در نگاشت‌های حوزه نزدیک به خوبی مشهود می‌باشد. شتابنگاشتهای مورد استفاده، ، شتابنگاشت روی خاک نوع II می‌باشند و برای اصلاح آنها از روش ارائه شده در آیین‌نامه UBC97 استفاده گردید. همچنین طیف طراحی مؤلفه‌های افقی زلزله با توجه به ضوابط آیین نامه UBC97 و نیز با در نظر گرفتن اثرات زلزله‌ی نزدیک گسل تعیین شده که به این منظور از ضرایب افزاینده‌ی (Na و Nv) استفاده گردید [۱۲]. و برای طیف طراحی مؤلفه‌های قائم زلزله، طیف طرح ارائه شده توسط شکیب وهمکاران به کار گرفته شد. تصویر طیف‌های مذکور در شکل (٤) نشان داده شده است [۱۳].

جدول ۱ رکوردهای زلزله در فواصل نزدیک گسل[۱۰ و ۱۴]

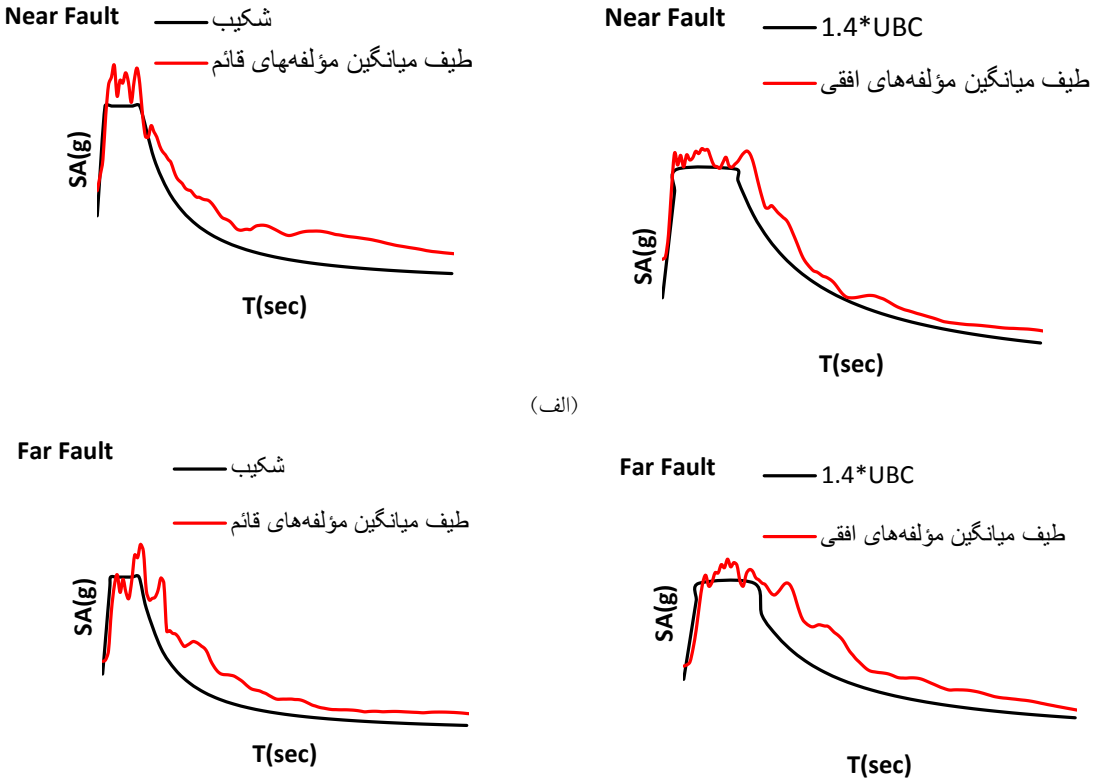
N	Earthquake	Year	Station	Mw	Distance(km)	Site Class	PGA-1 (g)	PGA-2 (g)	PGA-up (g)
1	Landers	1992	Lucerne	7.3	2.19	II	0.71	0.54	0.66
2	Loma Prieta	1989	Corralitos	6.9	3.85	II	0.662	0.511	0.45
3	Manjil,Iran	1990	Abbar	7.4	10	II	0.4	0.38	0.31
4	Northridge-01	1994	Beverly Hills-12250 Mulhol	6.7	18.36	II	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

جدول ۲ رکوردهای زلزله در فواصل دور از گسل[۱٤]

N	Earthquake	Year	Station	Mw	Site Class	PGA-1 (g)	PGA-2 (g)	PGA-up (g)
1	Loma Prieta	1989	BELMONT ENVIROTECH	6.9	II	0.12	0.09	0.05
2	Northridge	1994	LACC-NOR.V	6.7	II	0.217	0.25	0.105
3	DUZCE-Turkey	1999	LAMONT STATION 1061	7.17	II	0.13	0.107	0.05
4	Whittier Narrows	1987	GLENDORA-N. OAKBANK	6	II	0.11	0.093	0.071
5	Northridge	1994	BALDWIN HILLS	6.7	II	0.1	0.23	0.09
6	Northridge	1994	INGLEWOOD-UNION OIL YARD	6.7	II	0.11	0.091	0.06
7	San Fernando	1971	CASTAIC OLD RIDGE ROUTE	6.6	II	0.26	0.34	0.17



شکل ۳ تاریخچه زمانی شتاب وسرعت مؤلفه افقی: (الف) نگاشت‌های حوزه نزدیک ،(ب)نگاشت‌های حوزه دور



شکل ٤ طیف میانگین اصلاح شده:(الف) در نواحی نزدیک ،(ب)در نواحی دور

۴– مدلسازی پل

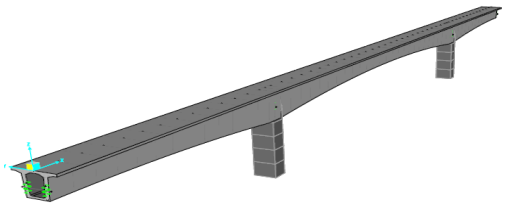
شکل(۵) پل سه دهانه بادهانه میانی ۸۰ متر ودهانه کناری ٤٠ متر را نشان می‌دهد. در مدل سازی پل از المان‌های تیر تیموشینکو برای مدل سازی ستون‌ها و به جای بکارگیری مقطع اصلی عرشه از مقطع معادل با خواص هندسی مقطع اصلی استفاده شده است [۱۵، ١٦ و ١٧].

برای مدل سازی کابل پیش تنیده در پل، از جایگزین نیرو بجای کابل (متناسب با نیروی محوری، لنگر خمشی و برش) استفاده شده است [۱۸ و ۱۹] .

در طرح ومحاسبه پل ها ی راه آهن ایران وزن اجزای تشکیل دهنده خط به شرح زیر اختیار می‌شوند [۲۰]:

– وزن مخصوص بالاست معادل ۱۹ کیلو نیوتن بر متر مکعب.

– ریل تراورس وبادبندها معادل ۷ کیلونیوتن بر متر طول به ازای هر خط عبور.



شکل ۵ مدل هندسی پل با دهانه میانی ۸۰ متر ودهانه کناری ٤٠ متر

۵– آنالیز دینامیکی وبر آورد پاسخ پل

با در نظر گرفتن تحقیقات گذشته و نگاه جامعی بر کارهای انجام شده برای بررسی اثر مؤلفه قائم زلزله روی پل‌ها، ملاحظه می‌شود که پارامترهای مهم بررسی شده عبارتند از: نیروی محوری ستون، لنگر خمشی در محل اتصال عرشه به ستون ولنگر خمشی در وسط عرشه.

۲– به منظور بررسی اثر مؤلفه قائم زلزله، سازه پل، تحت اثر همزمان سه مؤلفه طولی، عرضی و قائم زلزله بصورت تاریخچه زمانی خطی وغیر خطی تحلیل گردید. در مرحله

بعد پل‌های مورد مطالعه تحت اثر مؤلفه طولی وعرضی(بدون مؤلفه قائم) قرار گرفت. سپس تفاضل پاسخ‌ها $(\frac{3-2}{DL})$ [1] ناشی از تحلیل‌های دینامیکی که نشان دهنده اثر مؤلفه قائم زلزله می‌باشد، با روش تحلیل استاتیکی معادل ذکر شده در SDC-2006 برای محاسبه اثر مؤلفه قائم زلزله، مقایسه شد.

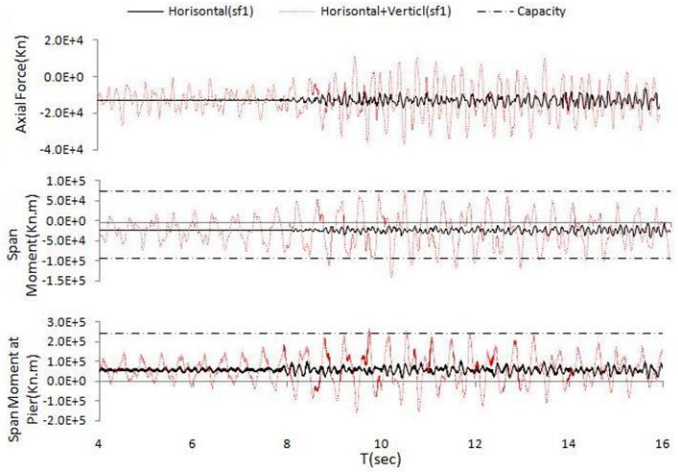
۱- برای برآورد پاسخ لرزه‌ای پل، آنالیز دینامیکی پل به صورت خطی وغیر خطی با محرک‌های انتخاب شده انجام می‌گردید.

۵-۱ بررسی نتایج حاصل از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیر خطی

شکل(٦) نحوه تغییر میزان تقاضای نیروی محوری ستون، تقاضای گشتاور موجود در وسط عرشه و تقاضای گشتاور در محل اتصال عرشه به ستون را برای پل با دهانه ۷۰ متر به صورت تابعی از زمان ناشی از تحلیل دینامیکی غیر خطی با و بدون در نظر گرفتن مؤلفه قائم زلزله برای رکورد (Castaic) را نشان می‌دهد. این نمودارها بیانگر این مطلب‌اند که نیروهای مورد بررسی در این تحقیق به طور قابل ملاحظه‌ای به وسیله حرکات قائم نزدیک گسل تشدید می‌یابند. همچنین در شکل (٦) مشاهده می‌گردد که ظرفیت خمشی وسط دهانه در هر دو جهت، هنگامی‌که از اثرات قائم چشم پوشی شده کافی می‌باشد. همچنین هنگامیکه اثرات قائم در تحلیل در نظر گرفته می‌شوند، لنگر خمشی وسط دهانه مخصوصاً در خمش منفی می‌تواند از ظرفیت خمشی عرشه تجاوز نمایند.

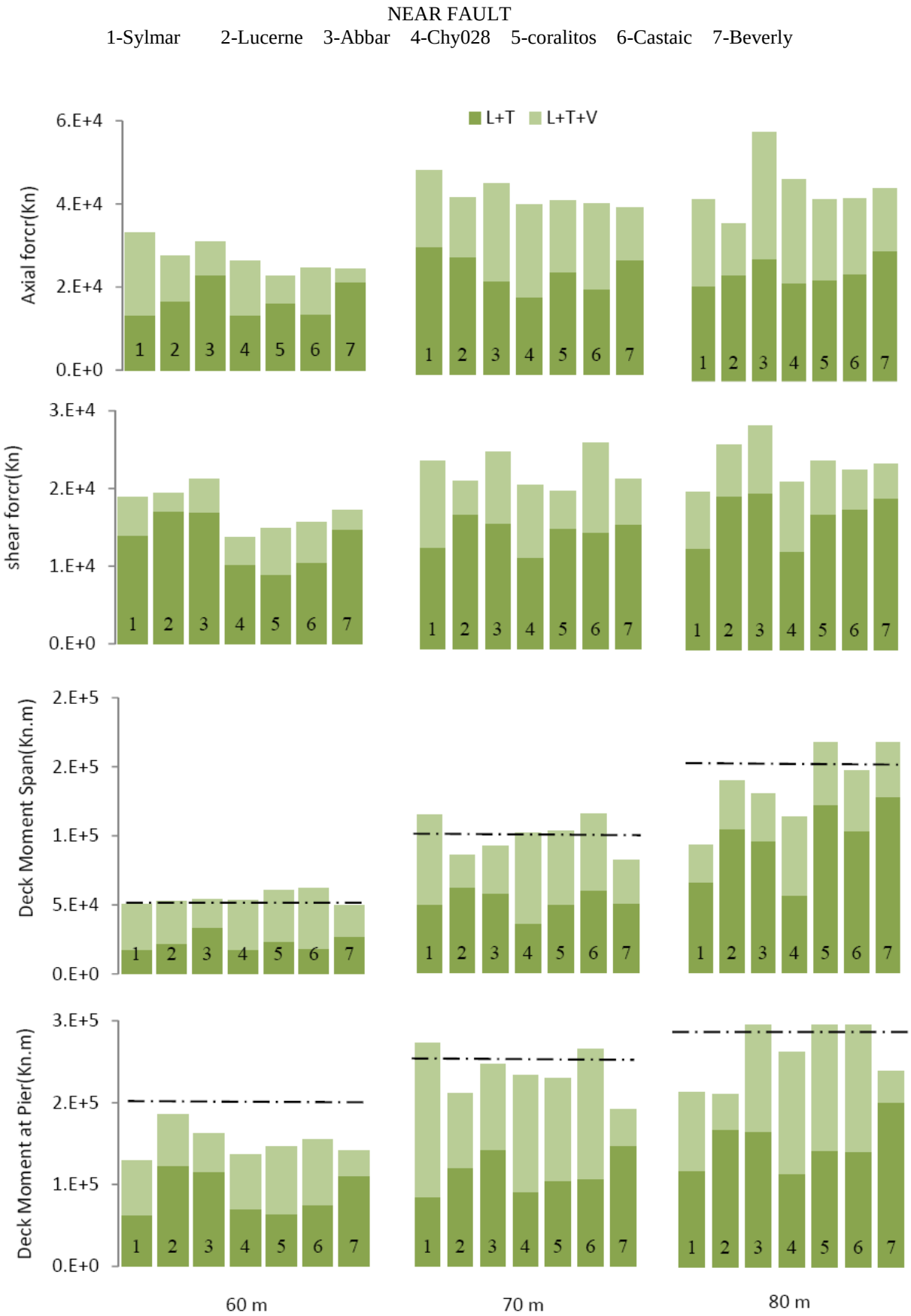
شکل‌های (۷ و ۸) خلاصه‌ای از تمامی تحلیل‌های عددی را به ترتیب در نواحی نزدیگ به گسل و در نواحی دور از گسل نشان می‌دهند. برای یافتن این نمودارها ابتدا پل تحت دو مؤلفه افقی زلزله تحلیل شده است. سپس اثر ترکیب مؤلفه افقی وقائم بررسی شده است. شکل‌های ۷ و ۸ نشان دهنده‌ی حداکثر نیروی محوری، نیروی برشی ولنگر خمشی عرشه پل‌ها برای هر حرکت زمین می‌باشد.

قسمت‌های توپر نشان داده شده در نمودار بیانگر پاسخ پل‌ها ناشی از اعمال مؤلفه طولی و عرضی زلزله است. در حالی که قسمت‌های کم رنگ، پاسخ پل‌ها با اعمال سه مؤلفه زلزله می‌باشد. بدیهی است برای هر دو حالت (در نواحی نزدیک و دور از گسل) اثرات قائم به طور قابل ملاحظه‌ای موجب تغییر در نیروهای ذکر شده می‌شوند. این تأثیر برای سیستم‌های با دهانه بزرگتر میل به افزایش دارد. لذا می‌توان چنین گفت اولاً مؤلفه های افقی زلزله در نواحی دور و نزدیک به گسل نمی-توانند اثر مؤلفهٔ قائم زلزله را بیان کنند و ثانیاً با افزایش طول دهانه پل اثر مؤلفه قائم بیشتر می‌شود. علت این امر آن است که پل‌های بادهانه‌های بزرگتر جرم بیشتری دارند و در نتیجه اثر مؤلفه قائم زلزله در آنها محسوس‌تر است. همچنین مشاهده می‌شود با در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم زلزله پاسخ های مورد بررسی برای بعضی از رکوردهای زلزله در نواحی نزدیک گسل می‌تواند از ظرفیت پل‌ها تجاوز نماید.

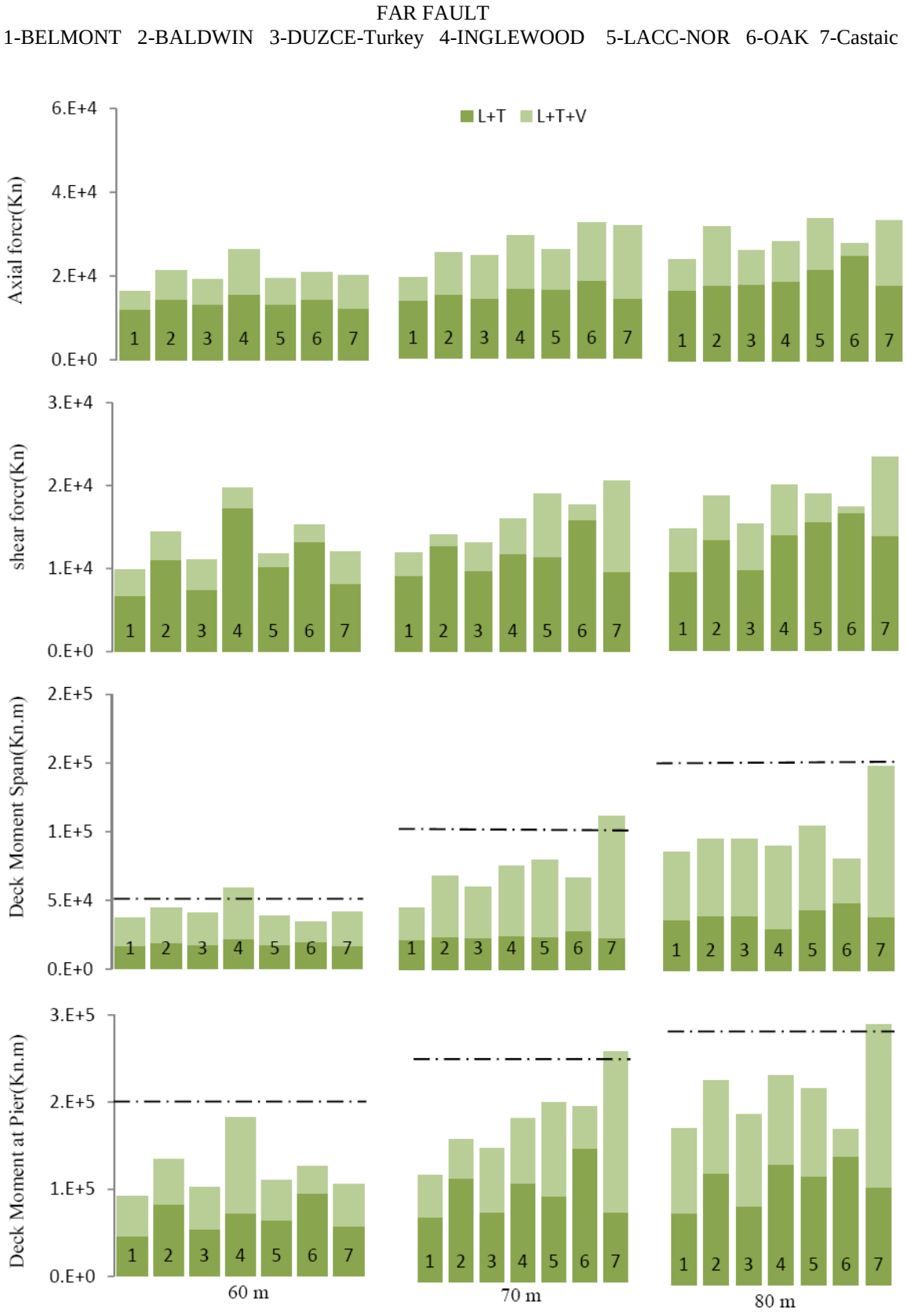


شکل ٦ پاسخ تاریخچه زمانی با وبدون در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم زلزله: نیروی محوری ستون، لنگر خمشی در وسط عرشه و لنگر خمشی در محل اتصال عرشه به ستون

۱. این نماد یعنی تفاضل پاسخ سه مؤلفه ای ۳ منهای پاسخ دو مؤلفه ای ۲ زلزله تقسیم بر اثر بار مرده



شکل ۷ تأثیر طول دهانه بر افزایش تأثیر مؤلفه قائم زلزله برای زلزله‌های مختلف در نواحی نزدیک به گسل



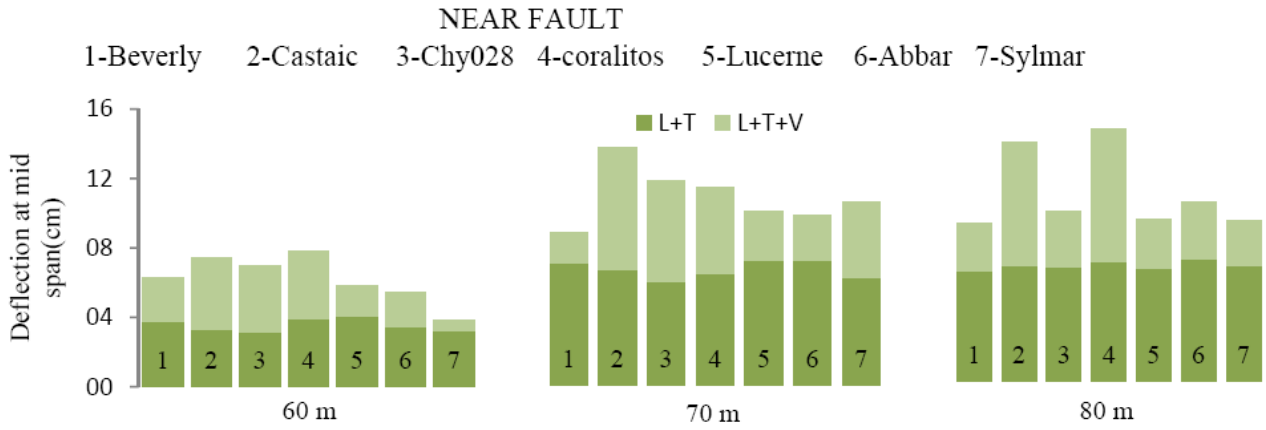
شکل ۸ تأثیر طول دهانه بر افزایش تأثیر مؤلفه قائم زلزله برای زلزله‌های مختلف در نواحی دور از گسل

شکل۹ نشان دهندهی جابجایی قائم در وسط عرشه پلها برای هفت حرکت زمین میباشد. قسمتهای پررنگ نشان داده شده در نمودار بیانگر پاسخ پلها ناشی از اعمال مؤلفههای طولی وعرضی زلزله است. در حالی که قسمتهای کمرنگ پاسخ پلها بااعمال سه مؤلفه زلزله میباشد، شکل ۹ نشان میدهد که مؤلفه قائم زلزله جابجایی قائم در وسط عرشه را برای پلها بادهانه میانی ۶۰، ۷۰ و۸۰ متر بطور متوسط به ترتیب ۷۵٪، ۶۵٪ و ۶۰ ٪ افزایش میدهد.

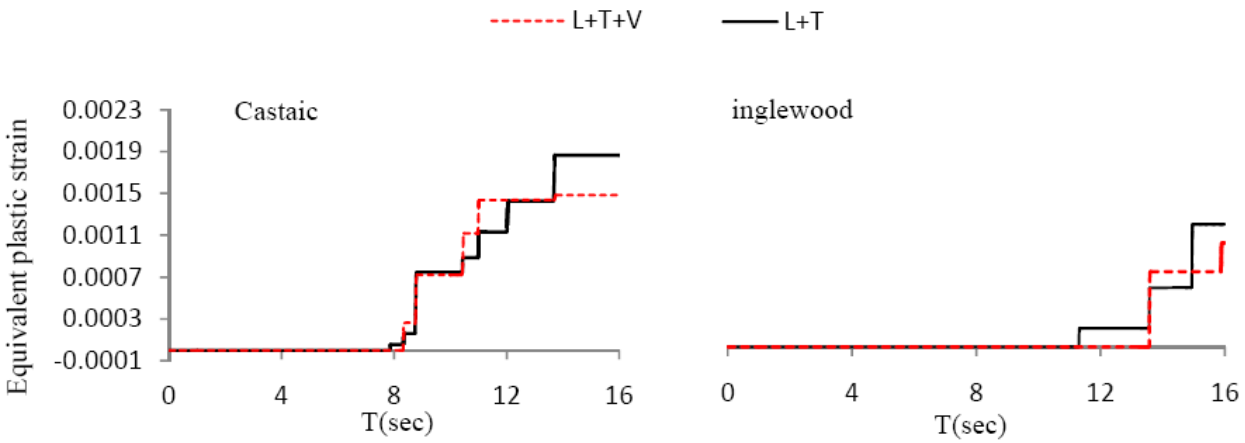
بااین حال مؤلفه قائم زلزله، جز تغییر شکلهای قائم وسط عرشه که میتواند به اندازه تغییر شکل ناشی از دو مؤلفه زلزله وحتی بیشتر از آن تغییر شکل ایجاد کند، در تغییر شکلهای دیگر پل و بخصوص تغییر شکلهای افقی (که میتواند در طراحی نئوپرینها وطول تکیه گاهی مهم باشد)، اثر چندانی ندارد.

شکل۱۰ نشان دهندهی کرنش پلاستیک معادل برای توصیف رفتار غیر الاستیک ستون برای پل بادهانه میانی ۷۰ متر است.

از این شکل نتیجه میشود در نظر گرفتن مؤلفه قائم زلزله موجب به تأخیر افتادن رفتار غیر خطی ستون میشود.



شکل ۹ جابجایی قائم در وسط عرشه برای زلزلههای مختلف در نواحی نزدیک به گسل



شکل ۱۰ کرنش پلاستیک معادل برای توصیف رفتار غیر الاستیک ستون برای پل باهانه میانی ۷۰ متر زلزله **Northridge**

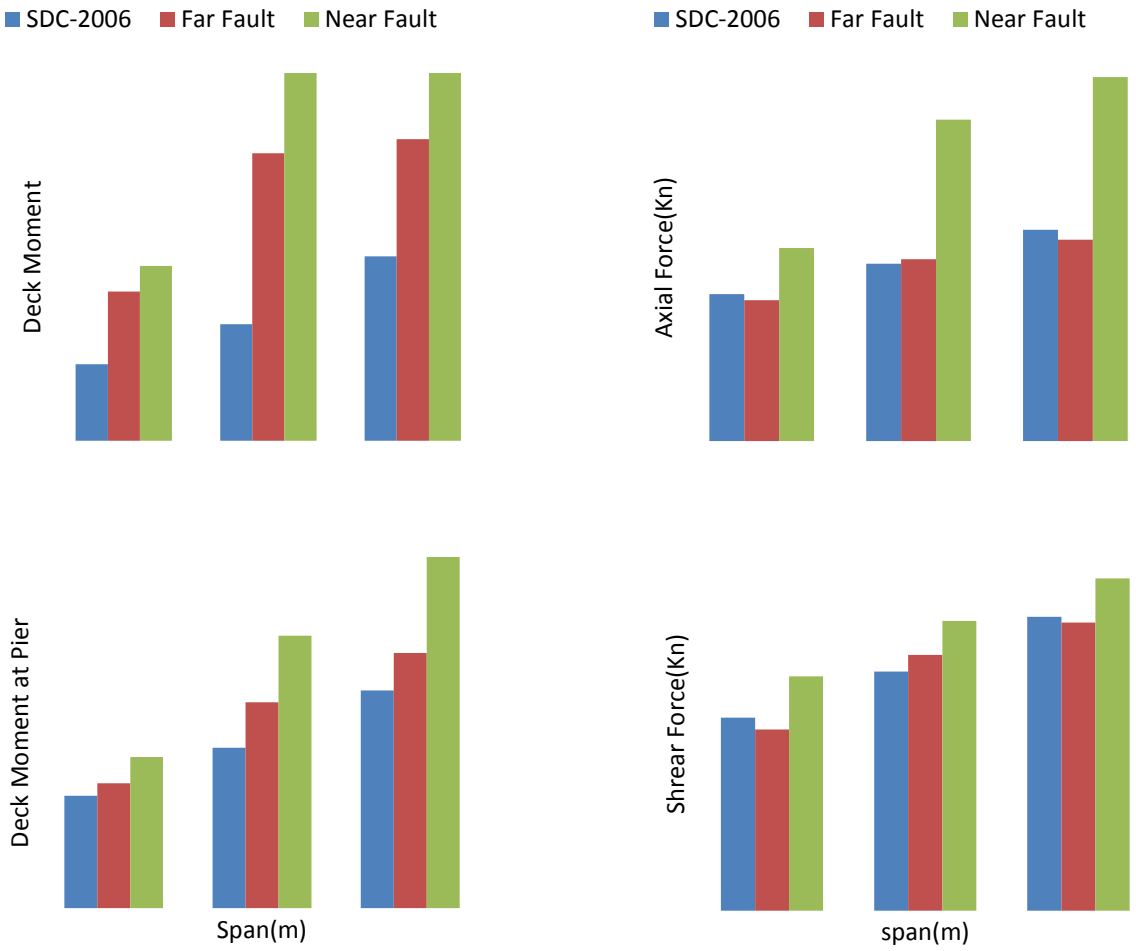
۵-۲- بررسی نتایج حاصل از تحلیل‌های تاریخچه زمانی خطی و محاسبه ضریب بزرگنمایی لنگر، برش و نیروی محوری

از آنجا که تاریخچه زمانی غیر خطی برای بیان رفتار سازه هنگام وقوع زلزله ضروری است، در این تحقیق رفتار غیر خطی سازه تحت شتابنگاشتها به صورت تحلیل تاریخچه زمانی انجام شد. بدیهی است، برای طراحی پل‌ها انجام تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی انجام نمی شود، بلکه از تحلیل‌های خطی بهره برده می‌شود. لذا برای نشان دادن ترتیبات طراحی از تاریخچه زمانی خطی استفاده شده و پیشنهادهایی در این رابطه ارائه می‌گردد.

در شکل(۱۱) نیروی برشی، لنگر خمشی عرشه ونیروی محوری ستون‌ها حاصل از تحلیل استاتیکی معادل به روش SDC2006 با نیروهای ناشی از تحلیل دینامیکی خطی برای دو حالت دور و نزدیک به گسل مورد مقایسه قرار گرفته است.

از شکل(۱۱) ملاحظه می‌شود اثر مؤلفه قائم زلزله روی برش عرشه ونیروی محوری ستون در نواحی دور از گسل تقریباً برابر با مقادیر به دست آمده از روش استاتیکی معادل آیین نامه SDC2006 است لیکن روش استاتیکی معادل نیروی محوری ستون و نیروی برشی عرشه را در فواصل نزدیک گسل کمتر از مقدار واقعی بدست می‌دهد. همچنین اثر مؤلفه قائم زلزله روی لنگر خمشی عرشه به روش استاتیکی معادل پاسخ‌های دست پایین در مقایسه با پاسخ‌ها برای هر دو حالت نزدیک ودور از گسل بدست می‌دهد. لذا به نظر می‌آید که روش استاتیکی معادل ذکر شده در SDC 2006 برای در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم زلزله نه تنها مقادیر برش و لنگر خمشی عرشه و نیروی محوری ستون در نزدیک گسل را کمتر از مقادیر واقعی آن تخمین می‌زند بلکه لنگر خمشی عرشه حاصل از زلزله‌های دور از گسل را هم کمتر از مقادیر واقعی آن بدست می‌دهد.

برای ارائه روشی که مهندسین طراح در دفاتر مهندسی بتوانند با آن اثر مؤلفه قائم زلزله را در پل‌های نواحی نزدیک و دور از گسل منظور کنند، یک ضریب بزرگنمایی پیشنهاد شده است که برای یافتن آن به وسیله نسبت بدست آمده از "تقسیم تفاضل نیروهای ناشی از ۳ مؤلفه و۲ مؤلفه زلزله بر پاسخ ناشی از بار مرده تنها ($C_V=\frac{3-2}{DL}$)" محاسبه می‌شود. ملاحظه گردید که تشدید لنگر خمشی، نیروی برشی و نیروی محوری ستون‌ها هر کدام با در صدی بزرگنمایی نسبت به بار مرده می‌توانند بیان شوند. این معیار در جدول ۳ باعنوان C_V معرفی شده است. C_V معیاری برای منظور کردن در صدی از بار مرده بجای منظور داشتن مؤلفه قائم زلزله در ترکیب بار است. برای محاسبه ضریب بزرگنمایی ابتدا ضریب مذکور برای هفت زلزله بدست آمد، میانگین ضرائب مذکور بعنوان ضریب بزرگنمایی قابل استفاده در دفاتر مهندسی بصورت جدول زیر پیشنهاد می‌شود، دراین جدول ضریب بزرگنمایی برای انواع نیروهای داخلی بصورت متفاوت پیشنهاد شده اند. از جدول مشاهده می‌شود اثر مؤلفه قائم زلزله در نگاشت‌های حوزه نزدیک گسل بزرگتر از نگاشت‌های حوزه دور از گسل است که می‌تواند ناشی از دلایل مختلفی باشد. یکی از آن دلایل، نسبت بزرگی بیشینهٔ سرعت به بیشینهٔ شتاب مطلق در تاریخچه زمانی نگاشت‌های حوزه نزدیک است. بزرگتر بودن این نسبت باعث پهن‌تر شدن ناحیه حساس به شتاب در طیف اینگونه زلزله‌ها شده ودر نتیجه، پل در محدوده فرکانسی بیشتری تحت تاثیر شتاب قرار می‌گیرد. دلیل دیگر می‌تواند بخاطر فرم طیف‌های طرح مؤلفه‌های زلزله باشد. در نواحی نزدیک گسل طیف قائم شتاب دارای حد اکثر بزرگتری نسبت به طیف قائم شتاب در محدوده دور از گسل است. بخاطر همین است که از ضرایب افزاینده‌ی (Na و Nv) استفاده شده است.

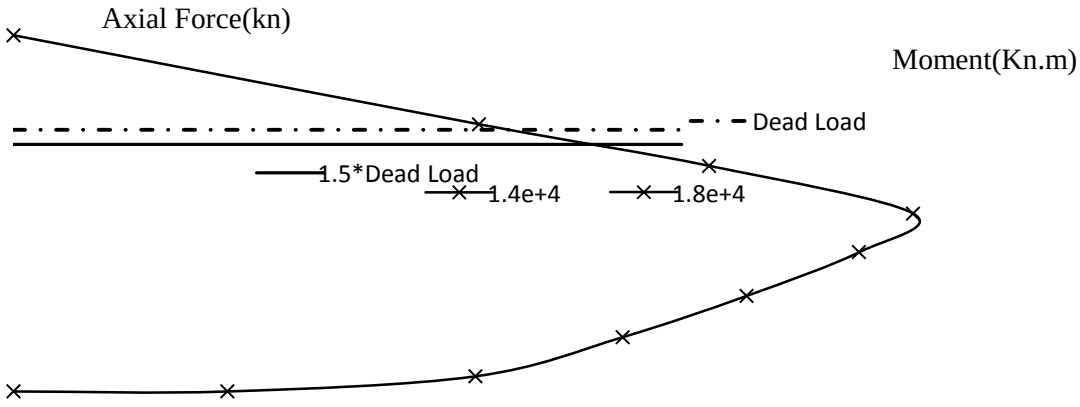


شکل ۱۱ مقایسه پاسخ‌های حاصل از روش **SDC 2006** و زلزله‌های در نواحی نزدیک و دور از گسل

جدول ۳ متوسط اثر مؤلفه قائم زلزله C_V برای پل‌ها در نواحی نزدیک گسل

	Internal Force Position	**span(m)**		
		60	70	80
Near Fault	Pier axial force	0.35	0.50	0.50
	Deck moment at midspan	0.6	0.9	0.6
	Deck moment at pier	0.35	0.45	0.4
	Deck shear at pier	0.25	0.3	0.3
Far Fault	Pier axial force	0.25	0.25	0.25
	Deck moment at midspan	0.5	0.7	0.5
	Deck moment at pier	0.3	0.35	0.3
	Pier axial force	0.25	0.25	0.25

به این ترتیب هنگام محاسبهٔ نیروهای داخلی اعضاء پل برای منظور داشتن اثر مؤلفهٔ قائم زلزله کافی است اثر بار مرده با ضریب C_V به نیروهای داخلی اعضاء ناشی از ترکیب بارهای مختلف افزوده شود.



شکل۱۲ اثرات تغییرات تقاضای نیروهای محوری روی ظرفیت خمشی ستون‌ها برای پل با دهانه ۷۰ متر در نواحی نزدیک گسل

اثرات تغییرات تقاضای نیروهای محوری روی ظرفیت خمشی ستون‌ها برای پل بادهانه ۷۰ متر در نواحی نزدیک گسل در شکل(۱۲) نشان داده شده است. باتوجه به جهات رفت وبرگشتی مؤلفه قائم زلزله، به نیروی محوری ستون، نیرویی اضافه وکم می‌شود که حد اکثر آن ۷۰٪ نیروی محوری ناشی از بار مرده ومقدار متوسط آن برای هفت رکورد زلزلهٔ هم مقیاس برابر ۵۰٪ اثر بار مرده است. از شکل(۱۲) پیدا است که هنگام کاهش نیروی محوری فشاری ستون (واحتمالاً به کشش افتادن ستون) ظرفیت لنگر ستون کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. از این وضعیت می‌توان نتیجه گرفت که ستون‌ها باید کاملا" شکل پذیر طراحی شده وبرای رفتار در بازه‌ی غیر الاستیک تحت حرکت‌های شدید زمین عکس العمل مناسبی داشته باشند.

بر پایه آیین نامه [۳] SDC-2006 شاهتیرهایی که تحت بار خمشی ناشی از عرشه قرار دارند باید ۲۰٪ قویتر از ستون‌های مجاورشان طراحی شوند تا قسمت عرشه پل، الاستیک باقی بماند. از طرف دیگر از جدول ۳ پیدا است که برای پل با دهانه ۷۰ متر در نواحی نزدیک گسل مؤلفه قائم زلزله در نیروی محوری ستون‌ها معادل ۵۰٪ اثر بار مرده باید منظور شود. چنانچه نیروی محوری ستون‌ها ۵۰٪ افزایش داده شود، آنچنانکه شکل ۹ نشان می‌دهد، به ظرفیت خمشی ستون ۲۹ ٪ افزوده می‌شود. با این افزایش ملاحظات طراحی SDC-2006 بهم می‌خورد و شرط قویتر بودن عرشه از ستون‌ها نقض می‌شود. به این ترتیب مفصل پلاستیک در صورت بروز در عرشه رخ می‌دهد نه در ستون. نظیر همین مسئله باید در اثر مؤلفه قائم زلزله بر برش ستون‌ها مورد مطالعه قرار گیرد.

۳- جمع بندی ونتیجه گیری

هدف از مقاله حاضر بررسی اثر مؤلفه قائم زلزله بر روی پل های راه آهن جعبه‌ای شکل با اجرای طره‌ای است. به این منظور یک مدل پل با دهانه‌های مختلف باسیستم مذکور ساخته شد و تحت تحلیل‌های تاریخچه زمانی قرار گرفت. هر یک از پل‌ها تحت هفت رکورد زلزله در فواصل نزدیک گسل و هفت رکورد زلزله در نواحی دور از گسل، تحلیل شد.

برای تحلیل پل‌ها ابتدا شتابنگاشت‌ها بر اساس طیف طراحی مؤلفه‌های افقی زلزله باتوجه به ضوابط آیین نامه UBC97 هم مقیاس شدند، سپس بااستفاده از ضرایب افزاینده‌ی (Na و Nv) اثرات زلزله نزدیک گسل بر طیف آیین نامه اعمال وشتابنگاشتهای نزدیک گسل بر اساس آن هم مقیاس شدند[۱۲]. برای طیف طراحی مؤلفه‌های قائم زلزله طیف طرح ارائه شده توسط شکیب وهمکاران [۱۳] استفاده گردید. نتایج تحلیل پل‌ها باسه مؤلفه ودو مؤلفه بایکدیگر مقایسه شدند. اهم دستاوردهای این مقایسه برای منظور داشتن مؤلفه قائم زلزله به صورت زیر خلاصه می‌شود:

۱- تحلیل‌ها نشان می‌دهند که تقاضای نیروی محوری موجود در ستون، نیروی برشی وتقاضای گشتاور در دهانه برای حالت

نزدیک گسل به طور قابل ملاحظه‌ای به وسیله حرکات قائم افزایش می‌یابند، و با افزایش طول دهانه پل اثر مؤلفه قائم بیشتر می‌شود.

۲- مؤلفه قائم زلزله، جز تغییر شکل‌های قائم وسط عرشه، در تغییر شکل‌های دیگر پل و بخصوص تغییر شکل‌های افقی (که می‌تواند در طراحی نئوپرینها و طول تکیه گاهی مهم باشد)، اثر چندانی ندارد.

۳- تحلیل‌ها نشان می‌دهد که مؤلفه های افقی زلزله در نواحی دور و نزدیک به گسل نمی‌توانند اثر مؤلفهٔ قائم زلزله را بیان کنند .

٤- نتایج تحلیل نشان می‌دهد که روش استاتیکی معادل ذکر شده در SDC2006 برای در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم زلزله نه تنها مقادیر برش و لنگر خمشی عرشه و نیروی محوری ستون در زلزله‌های نزدیک گسل را کمتر از مقادیر واقعی آن تخمین می‌زند بلکه لنگر خمشی عرشه حاصل از زلزله‌های دور از گسل را هم کمتر از مقادیر واقعی آن محاسبه می‌کند، لذا ضرایب جدیدی برای در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم زلزله در نواحی نزدیک گسل در آیین نامه SDC-2006 پیشنهاد شود.

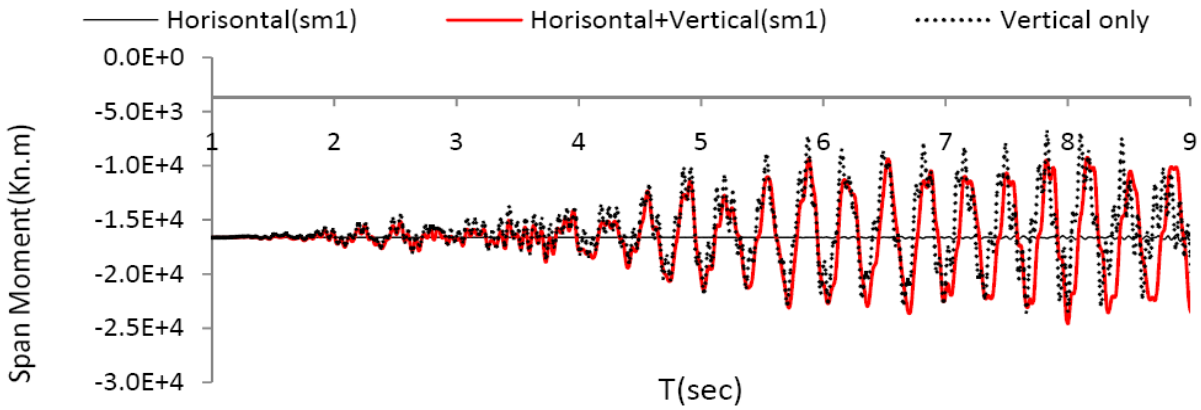
۵- از نتایج عددی در تحلیل‌های خطی ملاحظه می‌شود که اثر مؤلفه قائم زلزله روی سازه را می‌توان به صورت جدا و مستقل از اثر مؤلفه‌های افقی در نظر گرفت. این نتیجه‌گیری در شکل(۱۳) ظاهر شده است. شکل مذکور پاسخ پل ناشی از اثر دو مؤلفه افقی عرضی و طولی، پاسخ ناشی از اعمال مؤلفه قائم تنها و پاسخ ناشی از اعمال سه مؤلفه زلزله عرضی، طولی و قائم برای لنگر خمشی در وسط عرشه را نشان می‌دهد.

٦- از نتایج این تحقیق برای در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم زلزله برای پل‌های راه آهن جعبه‌ای شکل سه دهانه، ضرایبی پیشنهاد شد که بامنظور کردن آن ضرایب در ترکیب بار، می‌توان اثر مؤلفه قائم زلزله را در طراحی پل‌ها ملحوظ شده دانست. این ضرایب برای نیروهای داخلی متفاوت بصورت متفاوت پیشنهاد شدند. بنابر این به ترکیب بار آیین نامه‌ها پیشنهاد می‌شود جزء جدیدی به صورت زیر اضافه شود.

$$F = F' + C_V * F_{DL}$$

که در آن F، اثر زلزله با منظور کردن مؤلفه قائم است. F'، اثر ترکیب بار شامل زلزله با دو مؤلفه افقی است. F_{DL} ، اثر بار مرده (به تنهایی) برای نیروی داخلی مورد نظر است.

ضریب C_V برای طراحی سازه ی پل در برابر زلزله های در نواحی نزدیک به گسل در جدول (۳) ارائه شده است. و محاسبه ی آن برای دهانه های دیگر از روش درون یابی امکان پذیر است.



شکل۱۳ پاسخ تاریخچه زمانی لنگر خمشی در وسط عرشه برای پل بادهانه ٦۰ متر

۶- مراجع

[1] Silva, W. J, (1997)."Characteristic of vertical ground motions for application to engineering design " . Proc., FHWA/NCEER Workshop on the National representation 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.

[2] Yang , J., Lee, C.M. (2007)." Characteristics of vertical and horizontal ground motions recorded during the Niigata-ken Chuetsu, Japan Earthquake of 23 October 2004". Engineering Geology 94 (1-2) PP. 50–64.

[3] CALTRANS SEISMIC DESIGN CRITERIA.: SDC(2006)

[4] Saadeghvaziri, M.Ala, Foutch, D.A. (1991) "Dynamic behaviour of R/C highway bridges under the combined effect of vertical and horizontal earthquake motions" Earthquake Engineering and Structural Dynamics 20 (6), pp. 535-549

[5]Papazoglou, A.J., Elnashai, A.S. (1996). "Analytical and field evidence of the damaging effect of vertical earthquake ground motion" Earthquake Engineering and Structural Dynamics 25 (10), pp. 1109-1137

[6] Yu, C. P., Broekhuuizen, D. S., Roesset, J. M., Breen, J. E., and Kreger, M. E.(1997)."Effect of vertical ground motion on bridge deck response" Proc. Workshop on Earthquake Engineering Frontiers in Transportation Facilities, Tech. Rep. No.NCEER-97-0005, National Center of Earthquake Engineering Research, State Univ. of New York at Buffalo. N.Y.,249-263.

[7] Xiao, Yan ., Esmaeily-G, Asad. (1999). "Seismic Behavior of Reinforced Concrete Columns Subjected to Variable Axial Loads" USC Structural Engineering Research Report.

High-strength concrete short beams subjected to cyclic shear

[8] Button, M.R., Cronin, C.J., Mayes, R.L. (2002) "Effect of vertical motions on seismic response of highway bridges" Journal of Structural Engineering128 (12), pp. 1551-1564

[۹] رهایی، علیرضا; دلنواز، علی ." بررسی اثر مؤلفه قائم زلزله بر روی پلهای قابی شکل و پیش تنیده" دومین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه 10-اردیبهشت 1384 ، تهران، ایران.

[10] Kunnath, S.K., Erduran, E., Chai, Y.H., Yashinsky, M.(2008). Effect of near-fault vertical ground motions on seismic response of highway overcrossings" Source of the DocumentJournal of Bridge Engineering 13 (3), pp. 282-290

[11] Xia, H., Han, Y., Zhang, N., Guo1, W. (2006)."Dynamic analysis of train–bridge system subjected to non-uniform seismic excitations" Earthquake Engineering and Structural Dynamics 35 (12), pp. 1563-1579

[12] UBC. (Uniform Building Code) International Conference of Building Officials , Whitter California 1997.

[۱۳] شکیب، حمزه و همکاران؛ طیف طرح زلزله برای ایران؛ گزارش تحقیقاتی؛ شماره نشریه :گ-۴۳۰؛ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن؛ وزارت مسکن و شهرسازی؛ ۱۳۸۵.

[14] PEER Pacific Earthquake Engineering Research Center, "Strong Ground Motion Database, " web site: (http://peer.berkeley.edu/smcat/).

[15] Cheung, Y. K., Au, F.T.K., Zheng, D.Y., Cheng, Y.S. (1999). "Vibration of Multi-span Non-uniform Bridges Under Moving Vehicles and Trains by Using Modified Beam Vibration Functions" , Journal of Sound and vibration 228(3), 611-628

[16] Car, E., Oller, S., Onate, E. (2000) . "An anisotropic elastoplastic constitutive model for large strain analysis of fiber reinforced composite materials" Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 185 (2-4), pp. 245-277

[17] Oller, S., Barbat, A.H. (2006)." Moment–curvature damage model for bridges subjected to seismic loads". Computer Methods in Applied. Mechanics and. Engineering. 195(33-36) .4490–4511

[18] Chang, S.T.(2004)."Shear Lag Effect in Simply Supported Prestressed Concrete Box Girder". Journal of Bridge Engng © ASCE / 9 (2), pp-178–184.

[۱۹] محمودزاده کنی، ایرج."طراحی سازهای بتن پیش تنیده"، تهران ۱۳۸۶.

[۲۰] آیین نامه بارگذاری پلها، نشریه ۱۳۹، انتشارات سازمان مدیریت وبرنامه ریزی کشور ۱۳۷۹.

The Effect of Vertical Component of Near fault and Far fault earthquakes on three span Railway Bridges

M. Fezzeh[1], H. Moharrami[2], F. Daneshjo[3]

1. M.Sc. graduate, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University
2. Associate Professor, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University
3. Professor, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University

Abstract:
Many bridge engineers assume that vertical ground motions during seismic events are unimportant. Current seismic design requirements do not attempt to account for vertical motion effects. Of earthquakes. However the Study on the Accelerometers of the past earthquake indicates that the vertical acceleration can reach values comparable to (and sometimes even higher than) the horizontal accelerations.
Some of design codes presume that vertical ground shaking effects can be crudely included in design codes by increasing or decreasing the dead load actions in load combination equations. The current application of this approach is found in the AASHTO Seismic Isolation Guide Specification that uses ±20% of the dead load, in the testing requirements to represent vertical effects of earthquake, irrespective of its magnitude, fault distance, and soil type.
For ordinary standard bridges constructed on sites where the peak rock acceleration is expected to be more than 0.6 g, SDC-2006 requires consideration of vertical effects, but does not require analysis of the structure under combined horizontal and vertical components of the ground motion Instead, it stipulates the check of the nominal capacity of the structure subjected to an equivalent vertical load with a magnitude of 25% of the dead load (DL) of the structure applied separately in the upward and downward directions to account for vertical effects.
In some other design approaches, that attempt to consider vertical component of earthquake explicitly in the design, a vertical response spectrum with ordinates arbitrarily set at two-thirds of the appropriate horizontal response spectrum at the site is considered. However, recent studies including the present study have clearly demonstrated that this vertical-to-horizontal ratio in many cases underestimates the severity of the vertical component in the near-fault region and at short periods.
This study investigates the effect of vertical component of near fault and far fault earthquakes on three span railway bridges of variable spans with box girder cross sections.
Results of bridge analyses when vertical motions of earthquake are included in earthquake effects are compared to the case when vertical motions are excluded.
Comparison of the results show that the vertical components of ground motions cause significant amplification in the axial force demand in the columns and moment demands in the box girder at both the midspan and at the face of the joints to column. Another finding from the linear analytical study is the fact that the effect of vertical component is completely uncoupled to the horizontal effects.
Comparison of the results obtained, with the results obtained from SDC-2006 suggestions shows that a unit multiplier of the dead load effect for compensation of vertical effect of earthquake is not always appropriate. Therefore, for considering the effect of an earthquake's vertical component, preferably it is suggested that the vertical and horizontal components of earthquake is considered simultaneously. On behalf of such analysis, this study suggests different Dead Load Multipliers for different internal forces depending on their positions on the bridge.

Keywords: vertical component of earthquake; dynamic analyses; near-fault record; far-fault record; Railway bridge; Box girder; Prestressed bridge