# ارزیابی اثر تحریکات دو مولفه ای و سه مولفه ای زمین لرزه بر پاسخ پل های نامنظم متداول کشور مطابق آیین نامه بارگذاری پل ها وآیین‌نامه طرح پل های راه و راه آهن در برابر زلزله با مطالعات موردی

**سامان منصوری**
*کارشناس ارشد مهندسی عمران- سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول،دزفول، ایران*
**Samanmansouri@ymail.com**

**ساسان منصوری**
*دانشجوی کارشناسی مهندسی تکنولوژی عمران- عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران*

**امین نظری**
*دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران*

**کلید واژه‌ها:** *پل راه و راه آهن، دو مولفه و سه مولفه زلزله، بار مرده، تحلیل دینامیکی، مولفه قائم زلزله*

## چکیده

پل‌ها عناصر کلیدی راه های ارتباطی و شریان‌های حیاتی هر کشور می‌باشند. مسدود شدن راه ها بعلت تخریب یا غیر قابل استفاده بودن پل‌ها در اثر زلزله می‌تواند آثار مهلکی بر اقتصاد ملی و در امداد رسانی داشته باشند. از این رو اصلاح و ارتقای آیین نامه های طراحی پل‌ها (از جمله آیین نامه بارگذاری پل‌ها و آیین نامه طرح پل های راه و راه آهن در برابر زلزله) از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این مقاله به بررسی اثرات مولفه قائم زلزله بر پاسخ لرزه ای دو پل موجود راه و راه آهن که از جمله پل های متداول موجود در دنیا هستند با استفاده از تحلیل دینامیکی غیر خطی پرداخته شده است. نتایج حاکی از آن است که برخلاف آیین نامه های فوق الذکر، اعمال همزمان مولفه قائم زلزله با بار مرده از اهمیت ویژه ای برخوردار است و می‌تواند پاسخ سازه را به میزانی قابل توجه افزایش دهد، همچنین جهت بررسی رفتار لرزه ای یک پل، علاوه بر اعمال همزمان بار مرده با مولفه قائم زلزله، توجه به بیشینه PGA احتمالی ساختگاه جهت انتخاب زلزله مناسب ضروری و بسیار تاثیر گذار است. نتایج مطالعه حاضر برای سایر پل های شهری، بزرگراهی و راه آهن قابل تعمیم می‌باشد.

## مقدمه

زلزله در هر سال باعث بروز خسارت در سازه های مهندسی عمران می‌شود و پل ها نیز مستثنی نیستند. تجربیات حاصل از زلزله‌های گذشته که در گزارشات علمی، مقالات بیشمار ارائه شده در همایش های بین المللی و مجلات علمی منتشر شده و با سرعت قابل توجهی رو به افزایش است، نشان داده است که پل های ساخته شده بر اساس آیین نامه های قدیمی بالاخص از ناحیه زیر سازه در برابر زلزله آسیب پذیرند. در حقیقت، وقایع لرزه ای گذشته حاوی درسها و اطلاعات بسیار مهمی بوده اند که نباید از آنها صرفنظر کرد و همواره باید از آنها در توسعه دستورالعمل ها و آیین نامه های لرزه ای استفاده نمود. در سال ۱۹۷۱، زلزله سانفرناندو باعث بروز خسارت قابل توجهی شد و وجود کاستی‌های بسیاری زیادی را در آیین نامه های طراحی آشکار نمود. بدنبال آن، زلزله لوماپرییتا در اکتبر ۱۹۸۹، وجود ضعف در اتصالات سرستون، فقدان شکل پذیری در تیرها و ستون ها و مقاومت ضعیف در برابر بارهای طولی و عرضی را کاملاً نمایان ساخت. بازرسی های پس از زلزله، وجود ترک های برشی و فروپاشی بتن بخصوص در اتصالات سرستون های پل های دره-
گذر متعددی را آشکار نمود. در برخی موارد، تمرکز نیروی برشی در پایه های کوتاهتر برخی از پل ها بدلیل پیکره نامنظم آنها رخ داده بود که البته در طراحی دیده نشده بود( مالک، ۱۳۸۲).

در زلزله انرژی بسیار زیادی که با گذشت زمان در محل جمع شده با یک پارگی در پوسته زمین آزاد می‌شود. این انرژی به صورت ارتعاشی پخش می‌شود. به هر میزان از مرکز زلزله دور می‌شویم، این ارتعاشات که عمدتاً در سطح زمین توسط دستگاه های زلزله نگار ثبت می‌شوند، حالت یکنواخت تر و شکل مشخص تری دارند. با صرف نظر کردن از برخی مسائل، مثل اثر ساختگاه و در نظر گرفتن منشا کانونی برای زلزله می‌توان گفت، انتشار این امواج در فواصل دور به صورت کروی در داخل پوسته و دایروی در روی سطح زمین می‌باشند. به هر میزان به منشا زلزله

نزدیکتر می‌شویم، حالت یکنواخت تری در ارتعاشات و پخش کروی گونه در پوسته زمین و دایروی شکل در سطح کاملا از بین می‌رود( تهرانی زاده و لباف زاده، ۱۳۸۴).

ارتعاشات زمین در سایت های مجاور گسل باعث خرابی های گسترده ای در بسیاری از سازه هایی که حتی مسائل مربوط به آیین نامه زلزله را نیز رعایت کرده اند، گردیده است. از جمله در زلزله های کوبه( 1994)، تایوان( 1994) و نوثریج( 1995) سازه های مهندسی در مجاورت مرکز زلزله دچار خرابی های زیادی شده اند. به همین علت بررسی ماهیت ارتعاشات زمین در نزدیکی منشا زلزله به عنوان یک ضرورت مطرح شده و مطالعات متعددی نیز در این زمینه صورت گرفته است. زلزله های حوزه نزدیک به نقاطی از زمین اطلاق می‌شود که فاصله آنها از مرکز سطحی زلزله کمتر از یک حد معین است. بعضی از محققین از جمله اکی این فاصله را ۵۰ کیلومتر می‌دانند و برخی دیگر این فاصله را ۱۵ کیلومتر در نظر می‌گیرند. با توجه به تحقیقات انجام گرفته بر روی رکوردهای ثبت شده، جنبش قوی زمین در نزدیکی گسل و تاثیر این نوع رکوردها بر روی سازه های مختلف نیاز توجه به این رکوردها و آثار آن بر روی سازه ها، در دو دهه اخیر اهمیت تحقیق بیشتری را به خود جلب نموده است. تحقیقات انجام گرفته در این زمینه عمدتا به دو دسته تقسیم می‌گرد( مظفری جویباری و محمودی، ۱۳۹۱).

دسته اول، مجموعه ای از تحقیقاتی است که بر روی رکوردهای ثبت شده ناشی از جنبش قوی زمین در نزدیکی گسل و مشخصات و پارامترهای مختلف مربوط به رکوردهای نزدیک گسل انجام گرفته است و با جمع بندی دقیق و جمع آوری اطلاعات بدست آمده از رکوردهای ثبت شده زمین لرزه ها در نزدیکی گسل اطلاعات کامل و قابل استفاده ای جهت بررسی رفتار سازه ها تحت اثر این نوع رکوردها در اختیار محققان و کارشناسان قرار می‌دهد( مظفری جویباری و محمودی، ۱۳۹۱).

دسته دوم، مجموعه تحقیقاتی است که مربوط به بررسی رفتار سازه های مختلف تحت اثر رکوردهای نزدیک گسل می‌باشد. مشخصات زلزله های نزدیک گسل به دلیل خواص امواج برشی و تجمع آثار این امواج در جلوی مسیر گسیختگی تفاوت هایی با مشخصات زلزله های دور از گسل دارند. وجود حرکت پالس گونه با پریود بلند در ابتدای رکوردها، بزرگتر بودن مولفه عمود بر جهت گسل نسبت به مولفه موازی گسل، تجمع انرژی و انتقال آن در مدت زمان کوتاه، اعمال نیروی ضربه گونه بر سازه های موجود در مسیر پیشرو گسیختگی، نسبت بیشینه سرعت به بیشینه شتاب بالا و وجود بیشینه شتاب و سرعت و جابجایی بالاتر از تفاوت های حائز اهمیت رکوردهای زلزله های نزدیک گسل می‌باشد( مظفری جویباری و محمودی، ۱۳۹۱).

با پیشرفت علوم زلزله شناسی، مهندسی زلزله و زمین شناسی و افزایش دانش و تغییر بینش بشر در مورد زلزله ها و پیشرفت دستگاه های لرزه نگار مشخص شد در اکثر زلزله ها و بویژه زلزله های نزدیک گسل، مولفه قائم شتاب زمین دارای مقادیری قابل ملاحظه بوده است. همچنین با مطالعه آسیب های لرزه ای سازه ها مشخص است زلزله هایی که مولفه قائم قابل ملاحظه ای داشته اند نسبت به سایر زلزله ها، آسیب های بیشتری را در سازه ها بر جا گذاشته اند. بررسی ها نشان می‌دهند که یکی از مشخصه های زلزله- های نزدیک گسل، افزایش شتاب مولفه قائم زلزله به میزان مولفه افقی و یا حتی بیشتر از آنها می‌باشد که اثرات هم زمانی این مولفه- ها می‌تواند منجر به مودهای خاصی از خرابی سازه ای گردد. این حقایق نشان می‌دهند که اثرات مولفه قائم زلزله بر سازه ها باید به صورت جدی مورد توجه قرار گیرد.

گزارش زلزله کوبه ژاپن نشان داد که اکثر خسارات زلزله در اثر مولفه های قائم آن بوده است، زیرا بر خلاف انتظار، مولفه قائم در حدود ۱/۵ برابر مولفه افقی آن بوده که این امر پدیده ای نادر در زلزله می‌باشد( شکیب و علیرضایی، ۱۳۹۰).

در سال های اخیر مطالعاتی در مورد اثرات مولفه قائم شتاب زمین بر پاسخ لرزه ای سازه ها صورت گرفته است، از جمله خوشنودیان و معتمدی( ۱۳۸۹) نشان دادند مؤلفهٔ قائم زلزله سبب تشدید پاسخ نیروی محوری فشاری ستون گوشه در یک برابر ساختمان هم در بخش وزین و هم در بخش سبک سازه می‌گردد و این اثر در بخش وزین سازه مشهودتر و در حدود می‌باشد، در واقع اختلاف پاسخ بین پاسخ های ۲ و ۳ مؤلفه ای در حالت فشار و کشش در ستون بخش وزین بیشتر بوده است؛ لذا عدم لحاظ کردن مؤلفهٔ قائم زلزله در این قسمت خطای زیادی را ایجاد می‌نماید. همچنین نشان دادند عدم در نظر گرفتن مؤلفهٔ قائم زلزله سبب خواهد شد تا نیروی محوری کششی که در لحظاتی از زمان رخداد زلزله در ستون های گوشهٔ سازه به وجود می‌آید یا در نظر گرفته نشود و یا آنکه مقدار آن از آنچه که در واقعیت موجود هست کمتر لحظ گردد و از آنجایی که این نیروی محوری کششی می‌تواند سبب بلند شدگی محلی جداگرها و از کار افتادگی آنها گردد، لذا در نظر گرفتن مؤلفهٔ قائم زلزله الزامی به نظر می‌رسد. پاسبانی خیاوی و اشراقی( ۱۳۹۱) نشان دادند که در صورت در نظر گرفتن مولفه قائم زلزله پاسخ سازه افزایش می‌یابد و سبب افزایش نیروهای اعمال شده بر پل و در نتیجه بالا رفتن تنش های بوجود آمده در آن می‌شود، این نکات مبین این حقیقت است که در طراحی دقیق پل ها لازم است اثر مولفه قائم زلزله در نظر گرفته شود. قضاوی و همکاران( ۱۳۹۱) نتایج اعمال یک موج شتاب قائم بزرگ به همراه شتاب افقی بر دیوارهای صندوقچه ای، جابجایی های بزرگی را در آن ها نشان داده است. بنابراین، واضح است که در شرایطی که شتاب قائم در مسیر فوقانی بر دیوار وارد گردد، موجب جابجایی های بزرگی در دیوار صندوقچه ای می‌شود. به علت آن که در بعضی از زلزله های سطحی، امکان حرکات قائم لرزه ای وجود خواهد داشت، لذا پیشنهاد می‌شود که دیوارهای صندوقچه ای که در آن ها احتمال وقوع جابجایی های بزرگی می‌رود، در برابر شتاب قائم ناشی از زلزله های سطحی طراحی و مقاوم سازی شوند. گرامی، واثقی و عبدالله زاده( ۱۳۸۷) نشان دادند که دوره تناوب قائم ساختمانها معمولا کوتاه است و دقیقا نزدیک به فرکانس ارتعاشات قائم بر سطح زمین در زلزله های نزدیک گسل است، لذا اگر برای کارایی سازه مهم باشد، اثر مولفه قائم به سطح زمین بر سازه ها بایستی در نظر گرفته شود. شکیب و فولادگر( 2003) به بررسی اثرات مؤلفه های سه گانهٔ زلزله بر روی رفتار سازهٔ

متقارن جداسازی شده توسط سیستم اصطکاکی خالص پرداختند و نشان دادند در صورت در نظر نگرفتن مولفهٔ قائم زلزله ثانیه دست پایین پاسخ حداکثر شتاب مطلق روسازه و حداکثر تغییر مکان پایه در سازه هایی با زمان تناوب کمتر از بدست خواهد آمد در حالی که در زمان تناوب های متوسط و بزرگ چنین مشکلی به وجود نخواهد آمد. مظفری جویباری و محمودی( ۱۳۹۱) با انجام تحلیل طیفی و دینامیکی نشان دادند که اثر مولفه قائم با ارتفاع سازه بیشتر شده، در نتیجه باید در ساختمان های بلند اثر مولفه قائم زلزله های حوزه نزدیک را در نظر گرفت، همچنین پاسخ سازه حاصل از طیف پاسخ میانگین زلزله های حوزه نزدیک به مراتب بیشتر از پاسخ سازه حاصل از طیف طرح ۲۸۰۰ می‌باشد، در نتیجه طیف طرح ۲۸۰۰ نمی‌تواند نیاز لرزه ای سازه ها را در برابر زلزله های حوزه نزدیک برآورده کند.

در این مقاله به بررسی اثرات مولفه قائم شتاب جنبش های نیرومند زمین بر پاسخ لرزه ای پل های متداول بزرگراهی و راه آهن در دو مطالعه موردی پرداخته خواهد شد و سپس نتایج مطالعه حاضر با روش ارائه شده جهت اعمال اثرات زلزله بر پل ها مطابق آیین نامه بارگذاری پل ها( نشریه ۱۳۹) و آیین نامه طرح پل های راه و راه آهن در برابر زلزله( نشریه ۴۶۳) قیاس خواهد شد، در پایان مطالعه در صورت نیاز اصلاحات پیشنهادی برای آیین نامه های مذکور ارائه خواهد شد.

## ترکیبات بارگذاری مطابق آیین نامه بارگذاری پل ها( نشریه ۱۳۹)

ضرایب بار و تنش های مجاز محاسباتی، از روی آیین نامه های آشتو یا اوروکد( EURO CODE) تعیین می‌شوند، اما احتمال همزمانی و ترکیبات بارگذاری به شرح زیر می‌توانند در محاسبات منظور شود:

### پل های راه

گروه یک: مجموعه ای از بارها شامل بار مرده، اثر جریان آب، اثر کاهش وزن ناشی از غوطه وری، تغییر شکل های تابع زمان مصالح( جمع شدگی و وارفتگی)، نشست پایه ها و فشار خاک.

گروه دو: شامل گروه یک + بارهای بهره برداری همراه با اثر ضربه، اثر ترمز و گریز از مرکز

گروه سه( الف): شامل گروه یک + اثر باد

گروه سه(ب): شامل گروه دو + اثر باد

گروه چهار( الف): شامل گروه یک + اثر تغییر دما

گروه چهار( ب): شامل گروه دو + اثر تغییر دما

گروه پنج: شامل گروه یک + اثر زمین لرزه

گروه شش: شامل گروه یک + بارهای ویژه

### پل های راه آهن

گروه یک: بار مرده + اثر جریان آب + اثر کاهش وزن ناشی از غوطه وری + تغییر شکل های تابع زمان مصالح( جمع شدگی و وارفتگی) + نشست پایه ها + فشار خاک.

گروه دو: شامل گروه یک + بارهای بهره برداری همراه با اثر ضربه، اثر ترمز، کشش، گریز از مرکز و تاثیر نوسانات جانبی

گروه سه( الف): شامل گروه یک + اثر باد

گروه سه(ب): شامل گروه دو + اثر باد

گروه چهار( الف): شامل گروه یک + اثر تغییر دما

گروه چهار( ب): شامل گروه دو + اثر تغییر دما

گروه پنج: شامل گروه یک + اثر زمین لرزه

گروه شش: شامل گروه یک + نصف سربارهای بهره برداری + اثر زمین لرزه

گروه هفت: شامل گروه یک + بارهای ویژه

مطابق آیین نامه بارگذاری پل ها، برای محاسبه پل ها در مقابل زلزله باید مطابق مندرجات ***آیین نامه طرح پل های راه و راه آهن در برابر زلزله*** عمل شود.

## بندهای آیین نامه طرح پل های راه و راه آهن در برابر زلزله در مورد برآورد پاسخ لرزه ای سازه

(۲-۱-۲) در محاسبات فقط مؤلفه افقی نیروی زلزله در نظر گرفته می‌شود و از اثر مولفه قائم صرفنظر می‌گردد. نیروی عمودی تکیه گاهی ناشی از زلزله افقی در بند( ۳-۳-۲-۲) ارائه شده است.

( -۳-۲-۲) مهارهای عمودی: در تکیه گاه هایی که عکس العمل قائم ناشی از زلزله، در خلاف جهت عکس العمل قائم ناشی از بار مرده عرشه بوده و مقدار آن از نصف عکس العمل بار مرده تجاوز می‌کند، عرشه باید به وسیله مهار کننده های عمودی نگهداری شود. نیرویی که این مهار کننده باید تحمل کند به شرح زیر تعیین می‌شود:

الف- اگر $RD \geq RE \geq 0.5RD$ باشد:

$$F_V = 0.1R_{DS} \quad (۱)$$

ب- اگر $RD \geq RE$ باشد:

$$F_V = 1.2(R_E - R_D) \quad (۲)$$

$$F_V \geq 0.1R_{DS} \quad (۳)$$

FV: نیروی مهار کننده عمودی، RE: عکس العمل قائم ناشی از نیروی جانبی زلزله

RDS: عکس العمل قائم بار مرده عرشه با فرض دو سر مفصل بودن دهانه، RD: عکس العمل قائم بار مرده عرشه

(۲-۱-۳) پل در دو امتداد عمود بر هم مطابق بندهای( ۱-۳-۱) و( ۱-۳-۲) محاسبه می‌شود. در محاسبه اثر مؤلفه افقی نیروی زلزله در هر امتداد، ۳۰٪ اثر نیروی زلزله در امتداد عمود بر آن بطور همزمان بایستی اعمال گردد.

(۱-۳-۱) پل‌ها باید در دو امتداد عمود بر هم قادر به تحمل نیروهای افق ی ناشی از زلزله باشند و در هر یک از این دو امتداد بایستی نیروهای جانبی را به نحوی مناسب به شالوده ها انتقال دهند . این دو امتداد معمولاً محور طولی پل و محور عمود بر آن انتخاب می‌شوند. در مورد پل هایی که در پلان قوسی شکل اند، یکی از محورها را می‌توان راستای خطی که کوله ها را به هم متصل می‌کند، در نظر گرفت.

(۱-۳-۲) در پل هایی که پایه های آنها در پلان نسبت به محور طولی مورب اند، دو امتداد عمود بر هم گفته شده در بند ( ۱-۳-۱) را می‌توان در راستای محور پایه ها و عمود بر آن راستا در نظر گرفت.

(۲-۴-۹) پایه های پل علاوه بر نیروی زلزله ناشی از وزن عرشه( بندهای ۲-۴-۱ و ۲-۴-۲)، باید نیروی زلزله ناشی از وزن خود را نیز تحمل کنند. نیروی اخیر، از حاصلضرب ضریب زلزله( که در محاسبه نیروی زلزله روسازه یا عرشه به کار رفته است) در وزن پایه ها به دست می‌آید.

(۲-۴-۱) در این روش نیروی جانبی زلزله، بر مبنای زمان تناوب اصلی نوسان پل و با استفاده از طیف بازتاب طرح تعیین می- گردد. این نیرو با توجه به شکل نوسان پل در مد اصلی و بر اساس یکی از دو روش ارائه شده در پیوست شماره ۲ در طول پل توزیع می‌گردد.

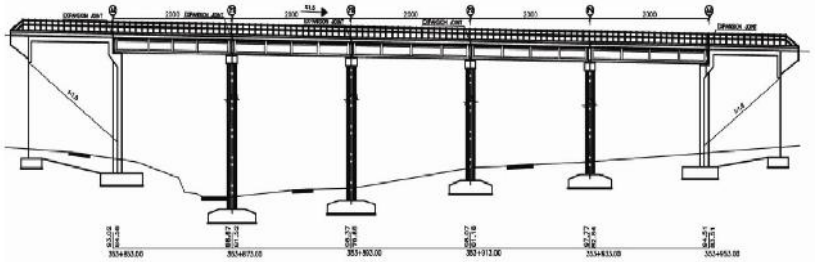
(۲-۴-۲) نیروی جانبی زلزله مؤثر بر عرشه پل در هر یک از دو امتداد از رابطه( F= C.W) بدست می‌آید.

## معرفی پل‌های موجود مورد مطالعه

### مطالعه اول( CS1)

پل مورد مطالعه در این پژوهش، پل قطعه سوم راه آهن اصفهان- شیراز است که مشخصات آن به شرح زیر می‌باشد:

طول پل ۱۰۰ متر است که دارای ۵ دهانه ۲۰ متری و عرض پل ۵/۶ متر می‌باشد که برای یک خط عبور طراحی شده است. ارتفاع ستون های دیواری متغیر بوده به طوری که طول ستون ها به ترتیب ۱۸ و ۱۶/۷۵ و ۱۴ و ۱۲/۷۵ متر از روی شالوده است و ابعاد پایه ها ۱/۲×۶/۸ متر است. روسازه پل شامل ۴ تیر بتنی پیش ساخته I شکل به طول ۱۹/۸ و ارتفاع ۱/۷ متر است که بصورت ساده بر روی پایه های میانی و کوله های کناری قرار می‌گیرد. دال بتنی به ضخامت ۲۵ سانتی متر به صورت درجاریز بر روی آن اجرا می‌شود. فاصله تیرهای بتنی از یکدیگر ۱/۵ متر است. هر یک از تیرهای طولی روی نئوپرن با ابعاد۳۰*۴۰*۵۲ قرار دارد. مجموعه عرشه بر روی سرستون هایی به ابعاد ۱/۹× ۱/۲ متر قرار می‌گیرد. کوله های پل از نوع بسته بوده ارتفاع کوله چپ از روی شالوده ۱۵ متر و عرض نشمین فوقانی ۱/۵ متر است و ارتفاع کوله سمت راست از روی شالوده ۱۲ متر و عرض نشیمن فوقانی ۱/۵ متر می‌باشد. در شکل(۱) نمای شماتیک پل نمایش داده شده است.

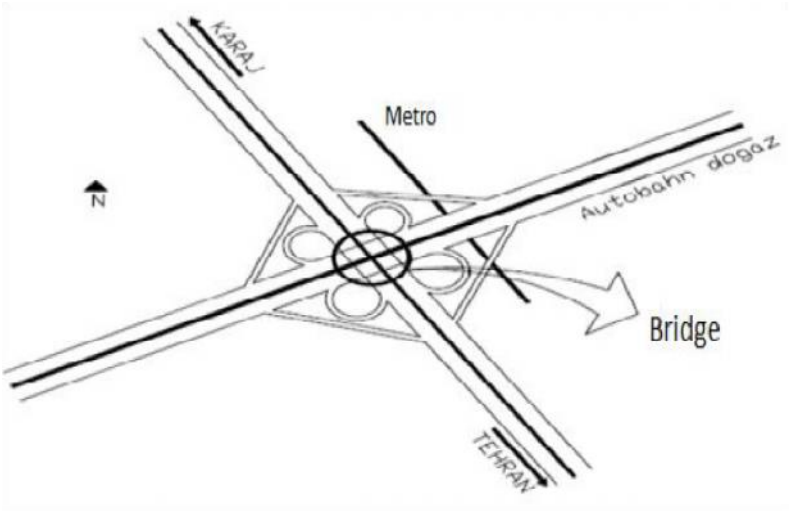


*شکل ۱: نمایی شماتیک از پل قطعه سوم راه آهن اصفهان- شیراز( نیکنام و همکاران، ۱۳۸۹)*

بتن مصرفی در تیرهای پیش ساخته دارای مقاومت ۳۵۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می‌باشد، بتن مصرفی در شالوده ها و کلیه اعضای کوله دارای مقاومت ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می‌باشد. بتن مصرفی در دال عرشه مانند بتن مصرفی در شالوده ها ولی با سیمان نوع I مـی‌باشـد. کلیه آرماتورهای بکار رفته از نوع آجدار با حد جاری شدن ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می‌باشد.

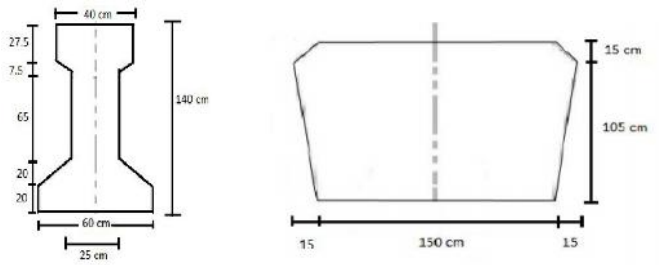
## مطالعه دوم( CS2)

مطابق شکل(۲) پل مذکور در تقاطع غیر هم سطح بزرگراه دوگاز با آزاد راه تهران- کرج قرار دارد.




*شکل ۲: محل پل مورد مطالعه مطابق نقشه های اجرایی*

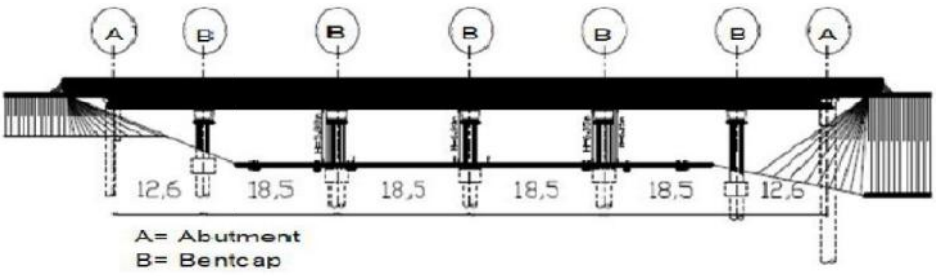
پل مذکور دارای شش دهانه می‌باشد که فاصله سرستون ها از یکدیگر ۱۸/۶ متر و فاصله آنها از کوله ها ۱۲/۶۷ متر می‌باشد. عرض عرشـه ۱۷ متر است. مقطع سرستون ها و تیرهای پیش ساخته عرشه مطابق شکل(۳) می‌باشد.



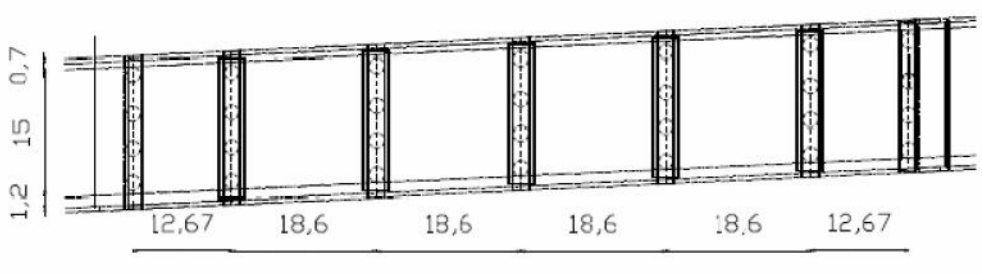

*(ب)* *(الف)*

*شکل ۳: (الف) مقطع سرستون بتن آرمه (cm)* *(ب) مقطع تیرهای سراسری بتن آرمه عرشه (cm)*

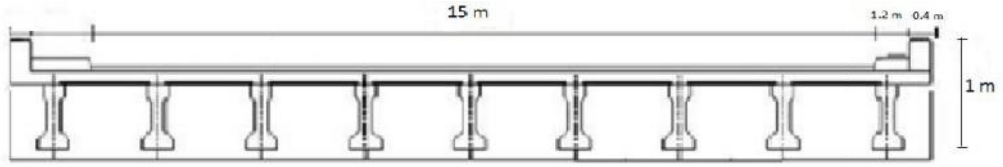
کدام از پنج قاب عرضی پل دارای چهار ستون می‌باشد که طول ستون های هر قاب با قاب دیگر متفاوت است. سطح مقطع عرضی سـتون ها دایره ای به قطر ۱۲۰ سانتی متر و سطح مقطع عرضی کوله ها مستطیلی با ارتفاع ۱۲۰ سانتیمتر و عرض ۱۹۵ سانتیمتر مـی‌باشـد. تکیـه گـاه ستون ها و کوله ها صلب است. دیگر مشخصات سازه مطابق زیر است:




*شکل ۴: نمایی از پل مورد مطالعه*



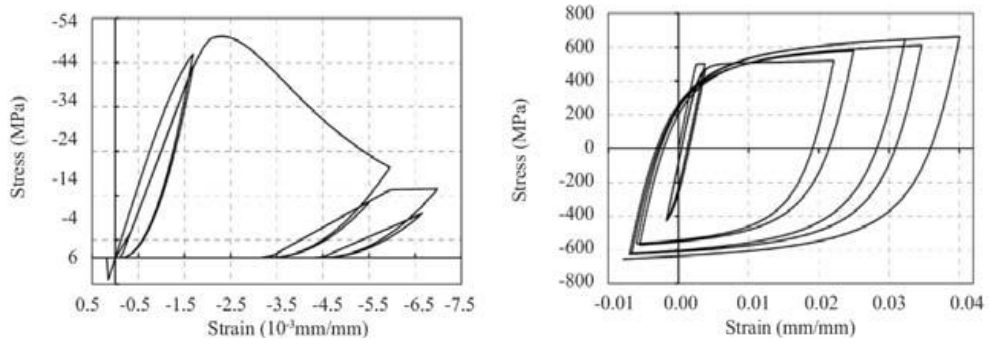

*شکل ۵: پلان عرشه*




*شکل ۶: مقطع عرضی عرشه*

در حد فاصل بین تیرهای سراسری عرشه با سرستون ها و کوله ها از نئوپرن های معمولی استفاده شده است و عرشه در جهت- های طولی و عرضی خود آزاد می‌باشد. ضخامت دال عرشه برابر با ۲۷/۵ سانتیمتر می‌باشد. در وسط هر دهانه از بلوک های برشی به مقطع مستطیلی به ارتفاع ۶۰ سانتیمتر و عرض ۵۰ سانتیمتر استفاده شده است. بتن مسلح درجا و بتن مسلح کلیه تیرهای پیش ساخته به ترتیب دارای مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۳۰۰ و ۳۵۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می‌باشند.

مدل بکار رفته برای بتن، مطابق شکل ۷، یک مدل تک محوری غیر خطی با محصور شدگی ثابت است که اولین بار توسط ماداس در سال ۱۹۹۳ بر اساس رابطه ساختاری ارائه شده توسط مندر و همکاران در سال ۱۹۸۸ بکار گرفته شده است. قوائد سیکلیک این مدل توسط مارتینز و الناشای در سال ۱۹۹۷ برای پایدار سازی عددی در تغییر شکل های بزرگ اصلاح شد. اثرات محصور شدگی ناشی از آرماتور عرضی در این مدل بر اساس قوائد ارائه شده توسط مندر و همکاران استوار است( اکبری، ۱۳۸۷).

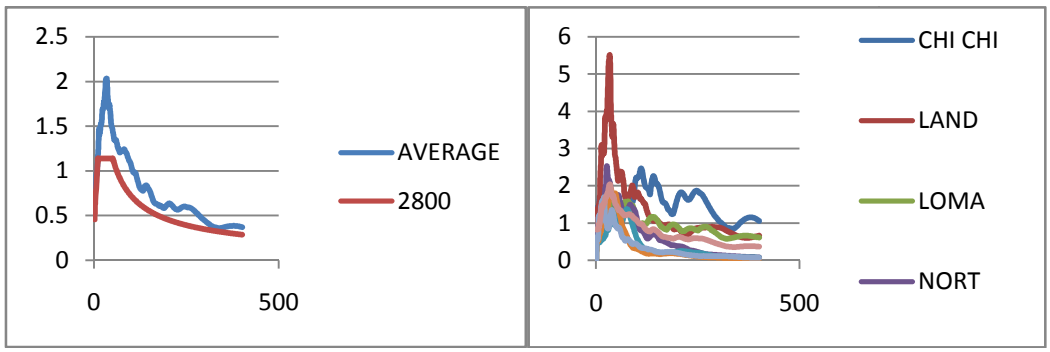



*(ب)* *( الف)*

*شکل ۷:( الف) مدل رفتاری غیر خطی فولاد؛ ( ب) مدل رفتاری غیر خطی بتن( اکبری، ۱۳۸۷ )*

## تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی

شتاب نگاشت های انتخابی مربوط به زلزله های طبس، لندرس، لوماپریتا، نورتریج، سانفراندو، چی چی و پارکفیلد می‌باشند که طیف وسیعی از شدت، مدت و محتوای فرکانس را شامل می‌شوند. مقیاس کردن شتاب نگاشت ها مطابق ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ صورت گرفته است، بطوریکه طیف وسیعی از هر یک از شتاب نگاشت ها با استفاده از روش جذر مجموع مربعات با یکدیگر ترکیب شده است. سپس طیف ترکیبی هفت زوج شتاب نگاشت، متوسط گیری شده و در محدوده زمان تناوب 0.2T تا 1.5T با طیف طرح ۲۸۰۰ مربوط به زمین نوع II (شتاب مبنای طرح ۰/۳۵g) مقایسه شده است. با توجه به اینکه استاندارد ۲۸۰۰ تنها به بالا بودن طیف شتاب میانگین هفت زلزله نسبت به طیف شتاب استاندارد ۲۸۰۰ بسنده کرده است که مطابق شکل(۸) در این پژوهش اینگونه می‌باشد مقدار ضریب مقیاس برابر با (1g) در نظر گرفته می‌شود. نمودارهای مقایسه طیف پاسخ شتاب استاندارد ۲۸۰۰ و طیف پاسخ شتاب میانگین ۷ زلزله مذکور و طیف واحد تمامی‌زلزله های مورد بحث بصورت زیر می‌باشند:




*شکل ۸: هم پایه نمودن و مقیاس شتاب نگاشت ها( منصوری، ۱۳۹۲)*

تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی به روش مودال و در صورت اعمال بار مرده با شرایط اولیه تحلیل بار مرده بصورت تاریخچه زمانی و با استفاده از طیف Rampth و با تعریف نمودن بردارهای ریتز و با اعمال شتاب های جهت های افقی و قائم و ضریب تجمعی مشارکت جرمی ۹۰٪ مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ و مشخصات زلزله طبس با ضریب مقیاس 1g انجام شده است. مشخصات مصالح غیر خطی تعریف شده اند. تحلیل سازه بصورت با و بدون اعمال اثر مولفه قائم زلزله انجام شده است که نتایج آن به شرح ذیل می‌باشد:

*جدول ۱: خلاصه نتایج بیشینه پاسخ سازه در جهت های افقی آن تحت شرایط مختلف بارگذاری*

| بیشینه پاسخ سازه در جهت های موازی زمین با اعمال مولفه های متعامد افقی زلزله و ... | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ton-m | ... بدون مولفه قائم زلزله و بار مرده | | ... با اعمال بار مرده | | ... با اعمال مولفه قائم زلزله | | ... با اعمال مولفه قائم زلزله و بار مرده | |
| | B.S.X | B.S.Y | B.S.X | B.S.Y | B.S.X | B.S.Y | B.S.X | B.S.Y |
| CS1 | 1390 | 1133 | 1390 | 1133 | 1390 | 1134 | 1389 | 1134 |
| CS2 | 1157 | 1851 | 1166 | 1848 | 1153 | 1855 | 1157 | 1852 |

*جدول ۲: خلاصه نتایج پاسخ قائم سازه تحت اثر تحریکات مختلف*

| بیشینه پاسخ سازه در جهت عمود بر زمین با اعمال مولفه های متعامد افقی زلزله و ... | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ton-m | ... بدون مولفه قائم زلزله و بار مرده | ... با اعمال بار مرده | ... با اعمال مولفه قائم زلزله | ... با اعمال مولفه قائم زلزله و بار مرده |
| CS1 | 46.35 | 2171 | 542.2 | 2604 |
| CS2 | 16.64 | 2935 | 865.3 | 3784 |

## تفسیر نتایج

نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی مطابق جدول (۱) مبین آن است که نیروی برش پایه پل های مورد مطالعه در حالات مختلف تحریکات قائم سازه اعم از وجود یا عدم وجود مولفه قائم زلزله و بار مرده و یا اعمال همزمان آنها تغییر چشمگیری ندارد و قابل اغماض می‌باشد.

نتایج جدول(۲) حاکی از آن است که با اعمال بار مرده و مولفه قائم جنبش زمین، پاسخ سازه در جهت عمود بر زمین به اندازه ای بسیار قابل توجه افزایش پیدا می‌کند، بطوریکه عدم لحاظ نمودن همزمان اثر مولفه قائم زلزله با بار مرده در برآورد پاسخ لرزه ای، سازه را در برابر زلزله‌های محتمل الوقوع بسیار آسیب پذیر خواهد نمود، کما اینکه بررسی ها نشان داده است که از جمله عوامل تاثیر گذار بر خرابی سازه ها در زلزله‌های گذشته می‌تواند عدم اعمال شرایط واقعی طبیعت در برآورد پاسخ سازه باشد.

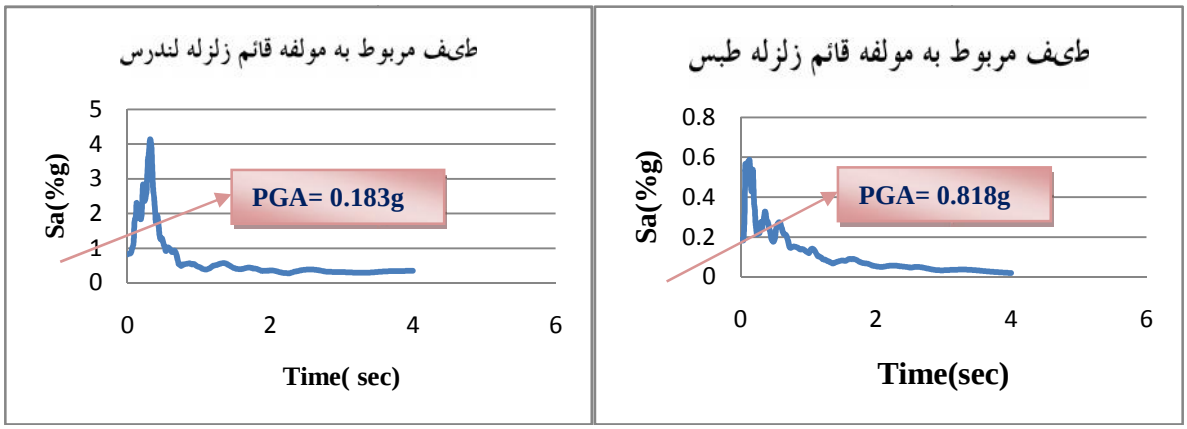
نتایج مطالعه حاضر حاکی از آن است که در برآورد پاسخ سازه جهت بررسی آن اعمال همزمان مولفه قائم زلزله و بار مرده برای پلها حیاتی خواهد بود.

عدم در نظر گرفتن مولفه قائم جنبش های نیرومند زمین در طراحی لرزه ای پل ها، در واقع طراحی پل ها در برابر شرایط غیر واقعی طبیعت می‌باشد و شاید با این فرض ایده آل سازی، در زلزله های محتمل الوقوع آتی که مولفه قائم قابل توجهی دارند، بشر سناریو وار شاهد خسارات جانی و مالی گسترده ای باشد.

حتی زمانیکه به دلیل فاصله قابل توجه از گسل مجاور، اثر مولفه قائم زلزله به نظر نمی‌تواند تاثیری قابل توجه بر عملکرد و پاسخ سازه داشته باشد در جهت اطمینان می‌بایست اثر مولفه قائم زلزله را بصورت درصدی( حداقل ۵۰٪) از بیشینه مولفه های افقی در نظر گرفته شود.

حتی در نظر گرفتن مولفه قائم زلزله در طراحی لرزه ای پل ها بدون اعمال شرایط ساختگاه، فاصل از گسل، بزرگا، نوع خاک، بیشینه PGA سنگ بستر احتمالی که رخ خواهد دارد نمی‌تواند رهگشا باشد. به عنوان نمونه PGA طیف قائم زلزله های لندرس و طبس مطابق شکل(۹)

به ترتیب برابر با ۰/۸۱۸ g و ۰/۱۸۳ g می‌باشد، بدین معنا که اثر مولفه قائم زلزله لندرس نسبت به زلزله طبس می‌تواند بسیار بزرگتر باشد و در صورت عدم طرای مناسب سازه می‌تواند آسیب هایی اساسی در آن بوجود آورد.




***شکل ۹: طیف قائم شتاب جنبش زمین مربوطبه زلزله های لندرس و طبس***

با توجه به زمین لرزه های محتمل الوقوعی که دارای مقادیر قابل ملاحظه شتاب در جهت قائم بر زمین هستند، در صورت استفاده از دستگاه‌های تکیه گاهی لرزه ای در حد فاصل بین عرشه با سرستون ها و کوله ها، منظور نمودن قیودی جهت تقابل با اثر ضربه مانند مولفه قائم زلزله و ممانعت از بلند شدن رو سازه( قسمتی از سازه که بر روی دستگاه های تکیه گاهی لرزه ای قرار دارد) در محل تکیه گاه ها ضروری به نظر می‌رسد. اثر مولفه قائم شتاب زمین بویژه در حوزه های نزدیک منبع لرزه زا می‌تواند سبب افزایش احتمال بلند شدن عرشه از تکیه گاه- ها شود، در این حالت در طراحی اتصالات تکیه گاهی باید آثار نیروهای ناشی از عملکرد درون صفحه ای کف عرشه پل بصورت ویژه و در حالت اعمال اثر مولفه قائم شتاب زمین لرزه مورد بررسی قرار گیرد. در مورد پل های موجود، مقاومت عرشه بویژه از نوع پیش تنیده می‌بایست در برابر اثر مولفه قائم زلزله مورد مطالعه قرار گیرد و در صورت نیاز بهسازی شود.

## نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به معرفت زمان، در نظر گرفتن همزمان بار مرده با تحریکات سه مولفه ای( دو مولفه افقی متعامد و یک مولفه قائم) زمین لرزه با در در نظر داشتن مقدار PGA مولفه قائم زلزله که از نظر مهندسی قابل دفاع باشد و همچنین اعمال شرایط ساختگاه، فاصله از گسل، بزرگا، نوع خاک( که می‌توانند سبب رزونانس شود) و عمق سنگ بستر می‌تواند تا میزانی قابل توجه از آسیب های لرزه ای سازه- ها بکاهد، همچنین در حال حاضر اعمال همزمان بارگذاری حرارتی و بارهای زنده با ترکیبات بار فوق الذکر در برآورد پاسخ لرزه ای قائم سازه ضروری نیست، مگر آنکه سازه از نظر اهمیت یا ویژگی های خاص ساختگاه، سازه یا مصالح مصرفی آن و البته با تاییدات مراجع ذیصلاح و برهان و استدلال های مهندسی قابل دفاع این پدیده ضرورت یابد. با توجه به مرجع بودن آیین نامه بارگذاری پل ها و آیین نامه طرح پل های راه و راه آهن در برابر زلزله برای مهندسین کشور، اصلاح موارد بیان شده در آنها بسیار حیاتی خواهد بود.

## قدردانی

مقاله پیش رو برگرفته از آموزش های استاد متعالی، مسلط، متواضع و مهربانم جناب آقای ***دکتر شاهرخ مالک***( استاد دانشگاه تهران) می‌باشد. بی شک بدون زحمات ایشان این اثر و سایر مقالات اینجانب قابل انجام نبود. از خداوند منان توفیقات روز افزون را برای ایشان مسئلت دارم. کاستی های احتمالی آن متوجه مولفان است.

## فهرست مراجع

- آیین نامه بارگذاری پل ها ( ۱۳۷۹) انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، نشریه ۱۳۹، تهران، ایران

- آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ( استاندارد ۸۴ - ۲۸۰۰) ویرایش سوم، ۱۳۸۴، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران

- آیین نامه طرح پل های راه و راه آهن در برابر زلزله ( ۱۳۸۷) معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، نشریه شماره ۴۶۳، تهران، ایران

- اکبری ر ( ۱۳۸۷) بررسی رفتار لرزهای پل های نامنظم دارای پایه های با ارتفاع و سختی متفاوت، پایان نامه دکتری عمران- سازه بـه راهنمـایی شاهرخ مالک، دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران

- پاسبانی خیاوی م ، اشراقی ر (۱۳۹۱) بررسی تاثیر مولفه قائم زلزله بر پاسخ لرزه ای پل های فلزی جداسازی شده با ایزولاتورهای هسـته سـربی، سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد، تهران، ایران

- تهرانی زاده م ، رحیم لباف زاده م ( ۱۳۸۴) پارامترهای موثر پاسخ سازه ها در حرکات افقی حوزه نزدیک، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه تهران

- خوشنودیان ف ، معتمدی د (۱۳۸۹) اثر مؤلفهٔ قائم زلزله بر رفتار ساختمان های فولادی دارای جداگر الاسـتومریک، نشـریه مهندسـی عمـران و نقشه برداری- دانشکده فنی دانشگاه تهران، دوره ۴۴، شماره ۴، از صفحه ۴۶۹ تا ۴۷۴، ایران

- شکیب ح ، علیرضایی م (۱۳۹۰) اصول مهندسی زلزله، چاپ اول، انتشارات آذرین مهر، تهران، ایران

- قضاوی م و همکاران ( ۱۳۹۱) بررسی اثر مولفه قائم زلزله بر روی سازه های ژئوتکنیکی، دومین کنفرانس ملی سازه - زلزله – ژئوتکنیک، مازندران، ایران

- گرامی‌م، واثقی ا ، عبدالله زاده د ( ۱۳۸۷) بررسی رفتار سازه ها تحت زلزله های حوزه نزدیک، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران

- مظفری جویباری ی ، محمودی ی ( ۱۳۹۱) بررسی اثر مولفه قائم زلزله های حوزه نزدیک روی سازه ها، دومین کنفرانس ملـی سـازه - زلزلـه – ژئوتکنیک، مازندران، ایران

- منصوری س ( ۱۳۹۲) بررسی اثرات استفاده از تجهیزات مستهلک کننده انرژی در بهسازی لرزه ای پل های چند دهانه بـتن آرمـه، پایـان نامـه کارشناسی ارشد عمران- سازه به راهنمایی شاهرخ مالک، دانشگاه آزاد اسلامی‌واحد دزفول

Shakib H , Fuladgar A (2003) A Response of pure-friction sliding structures to three components of earthquake excitation ,J. Computers and structures, VOL. 81, PP. 189–196.

Shakib H , Fuladgar A (2003) Effect of vertical component of earthquake on the response of pure-friction base-isolated asymmetric buildings, J. Engineering structures, VOL. 25, PP. 1841–1850.

-مالک ش ( ۱۳۸۲) ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای پل های گسترهٔ شهری تهران، طرح تحقیقات ملی، پژوهشکده سوانح طبیعـی، شـورای پـژوهش های علمی کشور، گزارش نهایی در ۷ مجلد.