

## ارزیابی تحلیلی رفتار ستونهای پلهای بتن مسلح در معرض حرکات افقی و قائم زمین لرزه در حوزه نزدیک گسل

(Analytical Evaluation of the behavior of RC bridge piers subjected to horizontal and vertical earthquake motion in near Fault.)

عطاجت کاشانی<sup>۱</sup>

علی کساری گیلک<sup>۲</sup>

۱-استادیار، گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

### 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. تحقیق حاضر اثر مؤلفه قائم زلزله را روی پایه ها (ستونهای) پل بتن مسلح را مورد بررسی قرار داده است. نتایج تحلیلها روی ستون پل ها، یکبار با در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم افقی و بار دیگر بدون در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم تحت نرم افزار ABAQUS انجام شد و نتایج تحلیلها در دو حالت مقایسه شدند. نتایج نشان میدهد تغییر میزان تقاضای نیروی محوری ستون به طور قابل ملاحظه ای به وسیله حرکات قائم زلزله تشدید میشوند. همچنین در زلزله های (Iamaprieta, Northridge, Kobe) آسیب برشی و شکست برشی ستونها شایع بود که همگی نشان دهنده افزایش قابل توجه نیروی محوری در ستونهای بتن مسلح تحت تاثیر حرکات قائم زمین است که در واقع به معنی تحلیل رفتن ظرفیت برشی ستونهاست. [۷-۱]

**کلمات کلیدی:** ستون پل، مؤلفه قائم زلزله، مؤلفه افقی زلزله، تحلیل دینامیکی، رکورد نزدیک گسل.

### Abstract:

Measurements of earth movements during the past earthquakes indicate that the vertical acceleration of an earthquake can reach the magnitude of earthquake acceleration in a horizontal direction, or even may in some cases exceed these accelerations. The present study examines the effect of the vertical component of the earthquake on the concrete of the RC bridges piers (columns). The results of the analyzes on the bridge column were performed once, taking into account the effect of the vertical component and again, without considering the effect of the vertical component of earthquake acceleration under the ABAQUS software And the results of the analysis were compared in two ways. The results show that the displacement of the pivot axial force demand is significantly magnified by the vertical movement of the earthquake. Also, in recent earthquakes (Iamaprieta, Northridge, Kobe), shear damage and shear failure of the columns were common, all indicating a significant increase in the axial force in the reinforced concrete columns under the influence of the vertical movement of the ground acceleration, which in effect meant the slipping capacity of the columns was reduced. [1-7]

**Key words:** Bridge column, Vertical component of earthquake, Horizontal component of earthquake, Dynamic analysis, Record near fault.

ATA Hojat kashani<sup>1</sup>

Ali kasary gilak<sup>2</sup>

بررسی و تبیین ارتعاشات نیرومند زمین در دو شاخه مهندسی سازه (دیدگاه تحلیل رفتار سازه) و مهندسی زلزله (دیدگاه تحلیل رفتار زمین)، دارای اهمیت فراوان است. شایان توجه است که برای حداقل کردن خسارت حاصل از زلزله های بزرگ، نیازمند به تدوین، تعمیم و گسترش دیدگاههای تحلیلی نسبت به ارتعاشات نیرومند زمین، بیش از پیش آشکار گردیده است. زلزله های نزدیک گسل که اخیراً اتفاق افتادند خسارات زیادی به بار آوردند. خسارات فراوان این زمین لرزه ها، متفاوت بودن پارامترهای زمین در زلزله های نزدیک گسل و نیز متفاوت بودن رفتار سازه ها در نزدیکی گسل، باعث شده زلزله های نزدیک از هر دو دیدگاه مهندسی زلزله و زلزله شناسی اهمیت بسیار داشته باشد. یکی از شاخص های این زلزله ها، مولفه قائم آن است که بسیار بزرگتر از آنچه که به طور معمول در طراحیها لحاظ می گردد، میباشد [۸-۱۰].

با اینکه اثرات نزدیک گسل در گذشته شناخته شده بود، اما اهمیت این موضوع در طراحی سازه های مهندسی عمران به خوبی درک نشده بود تا اینکه زلزله های مخربی همچون زلزله ۱۹۹۲ لندرز، زلزله ۱۹۹۴ نورثریج، زلزله ۱۹۹۵ کوبه ژاپن و زلزله ۱۹۹۹ چیچی تایوان به وقوع پیوست. اینگونه زلزله ها که در نزدیکی یک گسل فعال رخ میدهد، دارای نگاشتهای پالسی با پریود پالس بلند و دارای یک یا چند اوج سرعت میباشد این پالس توسط لغزش گسل ایجاد شده و باعث میشود تا قسمت بزرگی از انرژی زلزله در یک یا دو پالس بطور ناگهانی به سازه وارد شود. [۲].

تاثیر حرکت نزدیک گسل بر سازه با پریود بلند (نظیر برج ها، پل ها، ساختمان های مجهز به عایق زلزله) بیشتر خواهد بود. پالسهای دارای فرکانس بسیار پایین در رکورد شتاب، منجر به رکوردهای جابجایی بدون رفت و برگشت میشوند و این تک موج ها به صورت ناگهانی در سازه منتشر میگردند؛ در نتیجه تحلیل طیف پاسخ (در صورت عدم لحاظ این اثر) نتایج درستی بدست نمی - دهند با افزایش  $PGV/PGA$  نسبت نواحی حساس به شتاب در طیف پاسخ پهنای بیشتری مییابند. این پدیده باعث افزایش برش پایه، جابجایی نسبی و نیاز به شکل پذیری در سازه های دارای پریود بلند می گردد [۲]

برخلاف رکورد های معمولی که پریود غالب آنها یک پارامتر موثر بر سازه میباشد، در حرکت نزدیک گسل مدت زمان پالس حرکت و نسبت آن با پریود سازه، تعیین کننده پاسخ می باشد. لذا در این تحقیق به بررسی رفتار ستونهای پلهای بتن مسلح که در معرض حرکات افقی و قائم زمین لرزه قرار میگیرند و چگونگی اثر نیروی قائم زمین لرزه بر روی رفتار ستونهای پل های بتن مسلح و همچنین مدهای شکست پایه ها با توجه به این موضوع که در زلزله های اخیر خسارت برشی و شکست ستونهای بتن مسلح شایع بوده پرداخته شده و هدف از این تحقیق مدلسازی رفتار غیر خطی ستونهای پل با استفاده از نرم افزار ABAQUS تحت تاثیر نیروهای افقی و قائم زلزله و شناسایی پارامترهای مهم و تاثیر گذار در رفتار لرزه ای و حساسیت پاسخ پل به آنهاست. ستونهای انتخابی مطابق با مشخصات مثال شماره ۴ نشریه اداره فدرال بزرگراههای آمریکا (FHWA) به عنوان نمونه انتخابی جهت بررسی اثر قائم زمین لرزه میباشد. همچنین در این مطالعه نمونه های بررسی شده آزمایشگاهی در نرم افزار ABAQUS مدل سازی گردیده و در خصوص نتایج بدست آمده بحث و اختلافات موجود مورد بررسی قرار میگیرد همچنین تاثیر رفتار غیر خطی پل تحت اثر همزمان ۳ مولفه زمین لرزه و نیز پاسخ غیر خطی ستونها توجه ویژه صورت میپذیرد. با توجه به تفاوت زلزله های نزدیک گسل با زلزله های دور از گسل، در این تحقیق چند طیف طرح مربوط به آیین نامه های طرح لرزه ای، در محدوده نزدیک گسل بررسی می گردد.

## ۲- مروری بر تحقیقات گذشته:

مطالعه زلزله های نیرومند سالهای گذشته نشان دادند که زلزله های نزدیک گسل دارای خصوصیات ویژه می باشند . بطوریکه این ویژگیها باعث تفاوت زلزله های نزدیک گسل با زلزله های دور از گسل می شود . در طی تحقیقاتی که در این زمینه انجام شد، مشخص شد که نگاشتهای نزدیک گسل دارای مدت زمان موثر کمتری نسبت به نگاشتهای دور از گسل هستند و در نگاشتهای سرعت نزدیک گسل ، یک یا چند پالس ضربه ای با دامنه بزرگ و دوره تناوب زیاد وجود دارد که ناشی از اثرات Forward directivity (جهت پذیری پیشرونده) شکست می باشد. این پالسها در مولفه افقی عمود بر گسل دیده می شود. در سال ۲۰۰۴ بولت به این موضوع اشاره کرد که در محدوده نزدیک گسل در ساختگاه هایی که دارای اثر Forward directivity هستند، برای محدوده پریود بیش از 0.6 s ، دامنه طیف پاسخ بزرگتر است. وی نشان داد مولفه افقی عمود برگسل دارای اثر بیشتری در پریودهای بزرگتر از 0.6 s مولفه افقی زلزله است که این موضوع به بزرگی زلزله ، فاصله و جهت شکست وابسته است [۳] .

کراوینکلر و همکاران (۱۹۹۹) با مطالعه بر روی اثر پالسهای خاص با پریود  $T_p$  بر سازه هایی با پریود اصلی  $T$  نشان دادند طیف سیستم های یک درجه آزادی بطور کافی می تواند نیاز شکل پذیری سیستمهای سخت ، چند درجه آزادی را که دارای محدوده پریود  $T/T_p < 1.0$  هستند ، نشان دهد. اما این طیف برای نشان دادن نیاز شکل پذیری سازه های نرم که دارای پریود  $T/T_p > 1.0$  هستند ، مناسب نمی باشد . همچنین نشان داده شد که طیف پاسخ سیستم های یک درجه آزادی نمی تواند به اندازه کافی نیازهای لرزه ای را برای سازه های نزدیک گسل نشان دهد [۴].

یو<sup>۱</sup> و همکاران روی تأثیر شتاب قائم زلزله بر پلها مطالعات پارامتری انجام دادند و اثر شتاب قائم زلزله را روی یک پل بررسی کردند [9]. 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 تر است.

کرنین<sup>۲</sup> و باتن<sup>۳</sup> در تحقیق خود اثر مؤلفه قائم زلزله را روی شش پل با سیستمهای استاتیکی مختلف بررسی کردند [۱۱]. تحقیق ایشان شامل تحلیلهای طیفی خطی و تحلیلهای تاریخچه زمانی خطی و غیرخطی بود .بر اساس نتایج حاصل از تحلیل های 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.

کاند<sup>۴</sup> و همکاران با تحلیل های دینامیکی شامل تحلیل های طیفی خطی و تحلیل تاریخچه زمانی خطی و غیرخطی روی شش پل نشان دادند که به وسیله حرکات قائم زلزله نزدیک گسل تقاضای نیروی محوری موجود در ستون و تقاضای گشتاور ممان موجود در وسط دهانه به طور قابل ملاحظه ای تشدید می شوند [۱۳]

<sup>۱</sup> Yu

<sup>۲</sup> Cronin

<sup>۳</sup> Button

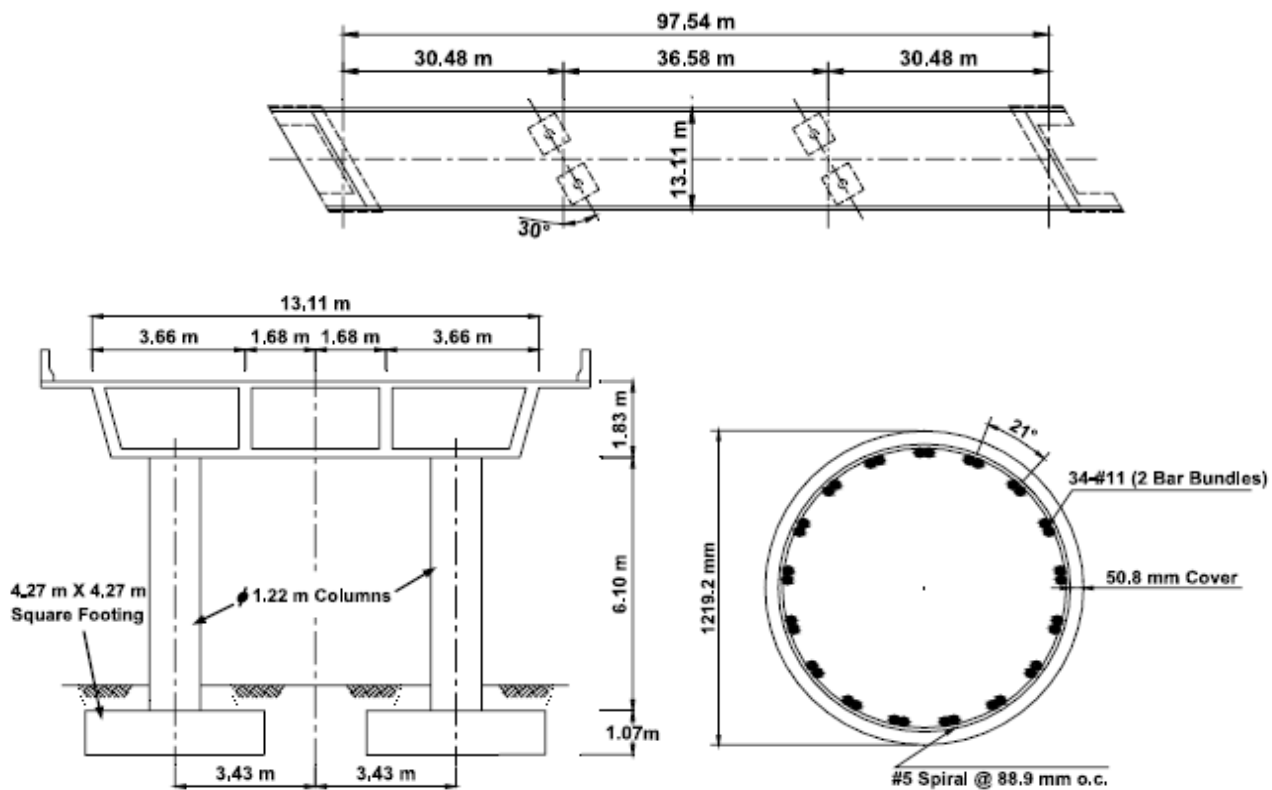
<sup>۴</sup> Kunnath

### ۳-مدل سازی مورد استفاده

بمنظور شروع فرآیند مدل سازی می بایست مدلی که در نرم افزار تهیه می شود رفتاری حداقل واقعی داشته ، بدین منظور می بایست نتایج تحلیل با یک مقاله معتبر یا یک مدل آزمایشگاهی مطابقت داشته شود تا بتوان به نتایج تحلیل با واقعیت نزدیک و از اعتبار برخوردار باشد . بدین منظور از مقاله آقایان Sung Jig Kima, Curtis J. Holubb , Amr S. Elnashai تحت عنوان

((Experimental investigation of the behavior of RC bridge piers subjected to horizontal and vertical earthquake motion)).

استفاده شده است.



شکل (۱-۳): ساختار اولیه مدل پل

در شکل (۱-۳) مدل اولیه یک پل است ، این پل بر روی یک زون زلزله با ضریب شتاب  $0.3g$  مطابق مشخصات فنی استاندارد پل های بزرگ راهها (FHWA)، بخش (1-A) طرح لرزه ای در غرب ایالات متحده ساخته شد. شکل (۱-۳) نمایی از طرح و ارتفاع پل را نشان می دهد. این پل طولی در حدود  $97/54$  متر دارد که در سه قطعه با طولی در حدود  $30,48$ ،  $36,58$  و  $30,48$  متر است . قطر پایه  $1219,2$  میلی متر با  $34$  عدد میلگردهای طولی به قطر  $11$  اینچ بصورت گروه میلگردهای دوتایی مطابق شکل (۱-۳) نشان داده شده است.  $1/4$  بالا و پایین پایه پل بعنوان مفصل پلاستیک بر طبق آیین نامه راهسازی AASHTO. لحاظ شده است.

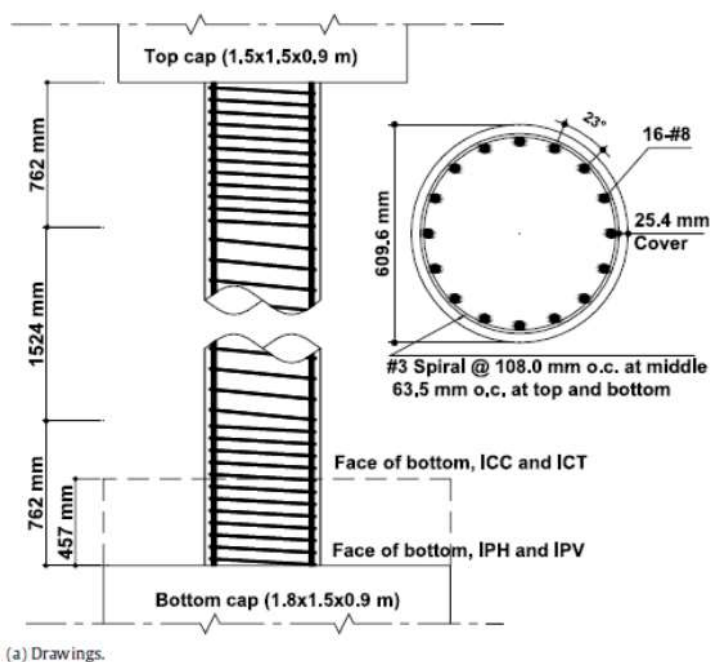
آرماتورهای عرضی بصورت مارپیچ فولادی با میلگردهای نمره ۵ اینچ به صورت دورپیچ وبا گام ۸۸,۹ میلیمتر در سراسر پایه پل استفاده شده است.

با این حال استاندارد پل های بزرگ راهپا (FHWA) در محدوده خارج از محدود مفاصل پلاستیک این فاصله را تا ۱۵۲,۴ میلیمتر مجاز دانسته است.

مدل مورد تحلیل یک مدل نیم مقیاس از مدل مقایس شده از مدل پایه پل است که در شکل (۳-۳) مشخصات آن آورده شده است.

جدول (۱-۳): نسبت میلگردهای اولیه و نمونه آزمایشگاهی

|               | Longitudinal rebar | Spiral(Plastic hinge zone) | Outside of plastic hinge zone |
|---------------|--------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Prototype     | 2.93               | .84                        | .49                           |
| Test Specimen | 2.79               | .84                        | .50                           |



شکل (۳-۳): مقطع پایه پل

قطر مدل ۶۰۹,۵ میلیمتر ، میلگردهای طولی ۱۶#۸ و مارپیچ ۳# است . فاصله بین مارپیچ ها داخل مفصل پلاستیک و خارج مفصل پلاستیک به ترتیب ۶۳,۶ میلیمتر و ۱۰۸,۶ میلیمتر است. نسبت میلگردهای طولی و نسبت حجمی میلگردهای عرضی (دورپیچ ها) مانند نمونه های اولیه مشابه بوده و در جدول (۱-۳) ارائه شده اند. همانطور که در شکل (۳-۳) نشان داده شده است.

#### ۴- مولفه های زلزله حوزه نزدیک گسل

جهت بررسی زلزله در حوزه نزدیک گسل ، رکوردهای زلزله های مربوطه در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱-۴): خصوصیات و مشخصات رکوردهای نزدیک گسل

| نوع خاک | $\frac{U_g}{\dot{U}_g}$ | $\frac{\ddot{U}_g}{\dot{U}_g}$ | PGD(cm) | PGV(cm/s) | PGA(g) | مولفه  | فاصله بر حسب کیلومتر | سال  | زلزله      |
|---------|-------------------------|--------------------------------|---------|-----------|--------|--------|----------------------|------|------------|
| USGS(B) | ۰/۳۹۵                   | ۰/۱۱۹                          | ۳۸/۶۶   | ۹۷/۷۵     | ۰/۸۳۵  | TAB-LN | ۳/۰                  | ۱۹۷۸ | TABAS      |
|         | ۰/۷۹۲                   | ۰/۱۴۵                          | ۹۶/۰۶   | ۱۲۱/۲۲    | ۰/۸۵۱  | TAB-TR |                      |      |            |
|         | ۰/۳۶۹                   | ۱۶/۴۰                          | ۱۶/۴۰   | ۴۴/۴      | ۰/۶۶۸  | TAB-UP |                      |      |            |
| USGS(B) | ۰/۳۷۲                   | ۰/۱۱۹                          | ۱۵/۰۸   | ۴۰/۴۳     | ۰/۳۴۴  | ARL090 | ۹/۲                  | ۱۹۹۴ | Northridge |
|         | ۰/۴۶۰                   | ۰/۰۷۶                          | ۱۰/۶۵   | ۲۳/۱۳     | ۰/۳۰۸  | ARL360 |                      |      |            |
|         | ۰/۴۸۶                   | ۰/۰۳۲                          | ۸/۶۲    | ۱۷/۷۱     | ۰/۵۵۲  | ARLup  |                      |      |            |
| USGS(B) | ۰/۱۰۱                   | ۰/۲۱۸                          | ۱۷/۶۹   | ۸۱/۳۰     | ۰/۸۲۱  | KJM000 | ۰/۶                  | ۱۹۹۵ | Kobe       |
|         | ۰/۱۲۷                   | ۰/۲۶۹                          | ۱۹/۹۷   | ۷۴/۳۵     | ۰/۵۹۸  | KJM090 |                      |      |            |
|         | ۰/۱۱۴                   | ۰/۲۶۹                          | ۱۰/۲۹   | ۳۸/۳۱     | ۰/۳۴۲  | KJM-UP |                      |      |            |

جهت استفاده از زلزله های مذکور در نرم افزار ABAQUS، رکورد شتاب زلزله های جدول های فوق در نرم افزار سیستم سیگنال بدست خواهد آمد.

#### ۵- مشخصات مصالح استفاده شده

اجزای مورد استفاده در پایه پل عبارتند از یک غلاف بتنی ، میلگردهای طولی ، مارپیچی و یک صفحه صلب است مشخصات هر کدام از مصالح در جدول ( ۱-۵) بیان شده است.

جدول (۱-۵) مشخصات مصالح مصرفی

| Concrete compressive strength (f 'c) |              | Reinforcement |              |               |             |
|--------------------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|-------------|
|                                      |              | Longitudinal  |              | Spiral        |             |
|                                      |              | Fy            | Fu           | Fy            | Fu          |
| Prototype                            | 27.6Mpa      | 413.7MPa      | --           | 413.7Mpa      | --          |
|                                      | 19.029kN/cm2 | 285.236kN/cm2 |              | 285.236kN/cm2 |             |
| Test Specimens                       | 43.4Mpa      | 427.5Mpa      | 632.9Mpa     | 517.1MPa      | 703.3Mpa    |
|                                      | 29.92kN/cm2  | 294.75kN/cm2  | 436.37kN/cm2 | 356.53kN/cm2  | 484.9kN/cm2 |
| Error(%)                             | 57.5         | 3.3           |              | 25.0          |             |

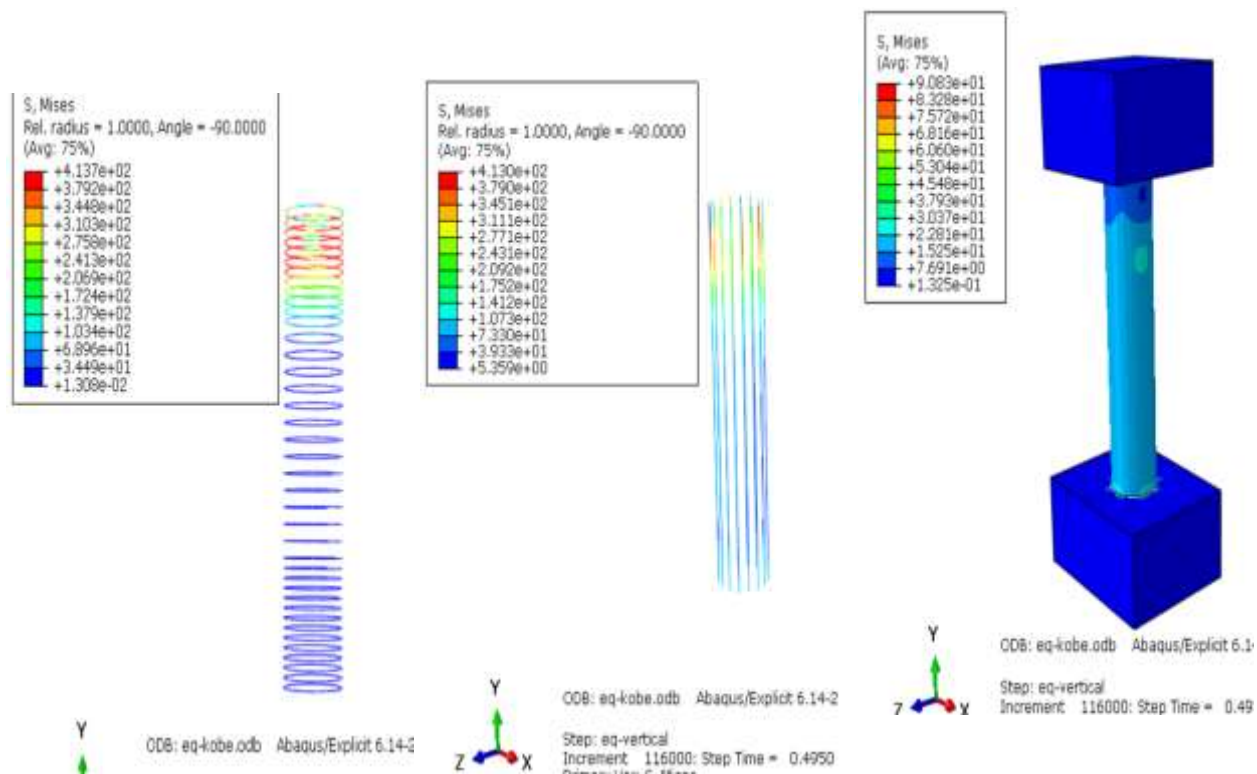
## ۶-ستون پل تحت بارهای زلزله

### ۶-۱ تحلیل های نزدیک گسل

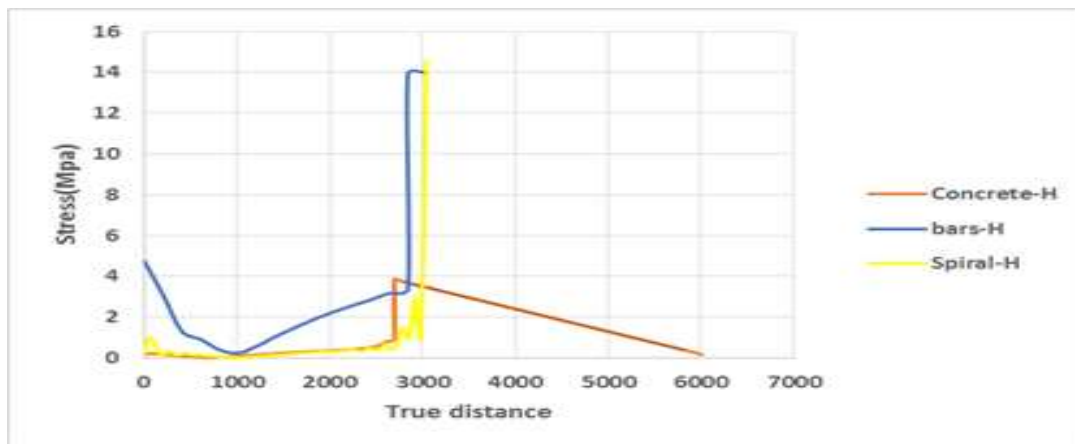
به منظور بررسی اثرات ناشی از زلزله بر ستون پل در محدوده تغییر مکان های غیر خطی و در دو جهت انتقالی طولی و عرضی از تحلیل دینامیکی غیر خطی استفاده می شود، در هر نوع تحقیق می بایست نوع رکورد مورد استفاده ، مشخص شود، لذا در این بخش، ابتدا مدل را تحت رکورد افقی زلزله مورد بررسی قرار داده ، سپس بار رکورد قائم زلزله بر مدل وارد شده و اثرات ناشی از آن با رکورد افقی زلزله تعیین می گردد.

### ۶-۱-۱ رکوردهای افقی زلزله

محورهای X ، Y و Z در محیط نرم افزار وجود دارد که از محورهای یاد شده دو محور را افقی فرض کرده و محور سوم به عنوان محور قائم تلقی می شود ، لذا در این تحقیق محورهای X و Z محور افقی و محور Y به عنوان محور قائم خواهد بود. در شکل (۶-۱) مدل های تحلیل شده تحت رکورد های افقی زلزله کوبه را نشان می دهد رکورد افقی زلزله در جهت X به مدل وارد شده است. و رکورد قائم زلزله هم در جهت Y به سازه اعمال شده است.

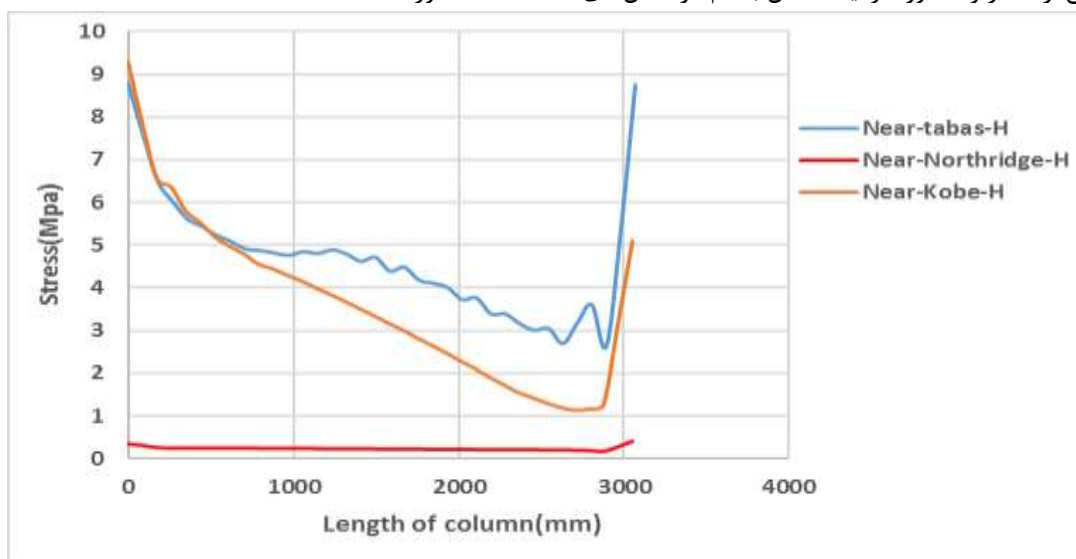


شکل (۶-۱): تنش در اجزاء پایه پل تحت زلزله Kobe



شکل (۲-۶): تنش های وارده به اجزاء پایه پل

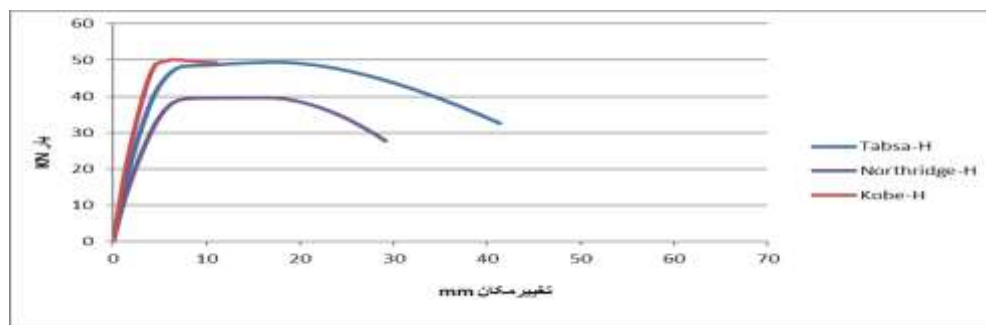
شکل (۲-۶) نمودار تنش را در هر کدام از اجزا در طول پایه پل را نشان می دهد. با دقت در شکل (۲-۶) ملاحظه می گردد هر کدام از اجزای پایه پل از تنش های متفاوتی برخوردارند، بیشترین مقدار آن مربوط به آرماتورهای طولی، سپس آرماتورهای عرضی دورپیچ در پایه پل و سپس بتن مورد استفاده در پایه پل می باشد، مشاهده می شود که بیشترین مقدار جابجایی در بالای پایه پل و بیشترین مقدار نیرو یا واکنش تکیه گاهی در محل اتصال پایه پل به زمین می باشد، همچنان که قبلاً ذکر شد برای بررسی رکوردهای نزدیک گسل سه زلزله در نظر گرفته شده است که در شکل های زیر تنش ها و جابجایی ها و عکس العمل های تکیه گاهی ناشی از سه زلزله حوزه نزدیک گسل با هم در شکل های (۳-۶) تا (۶-۶) آورده شده است.



شکل (۳-۶): تنش ایجاد شده در پایه پل تحت زلزله های نزدیک حوزه گسل

شکل (۳-۶) نمودار تنش در طول پایه پل را نشان می دهد علامت های اختصاری نشان داده شده در لژند شکل به ترتیب عبارتند از : Near: کلمه اول بیان کننده نوع حوزه گسل است که در اینجا منظور حوزه نزدیک گسل می باشد، کلمه دوم: نشان دهنده زلزله بکاررفته در تحلیل است. و کلمه بعدی نشان دهنده نوع رکورد زلزله مورد استفاده بوده که در این H: نشان دهنده رکورد افقی زلزله است. محور افقی نمودار بیانگر طول پایه پل است که نقطه صفر آن در محل تکیه گاه و نقطه انتهایی (در طول ۳۰۰۰ میلیمتر)، محل اتصال به کلاهک بالای است و محور قائم نمودار میزان تنش ایجاد شده در پایه پل است. که بیشترین تنش ایجاد

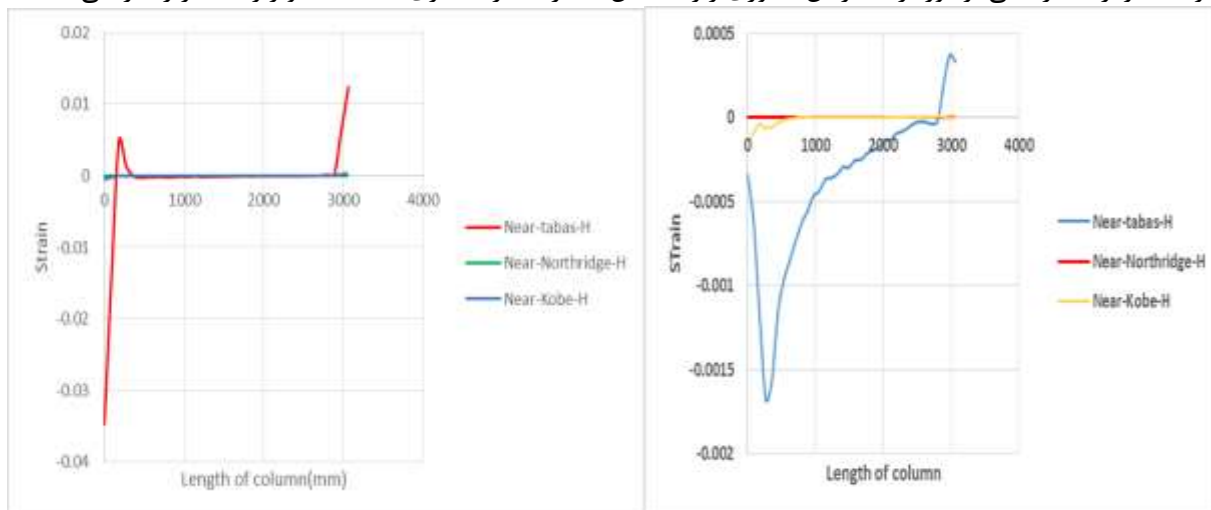
شده در پایه پل ناشی از زلزله طبس است. در کلیه تنش های حاصل از رکوردهای زلزله، مقدار تنش در تکیه گاه با بیشترین مقدار شروع می شود و تا انتهای پایه پل قبل از اتصال به کلاhek بالای دچار افت شده و در محل اتصال به کلاhek بالایی مقدار افزایش در تنش بوجود می آید. و در شکل (۴-۶) برش پایه پایه پل، تحت زلزله های مذکور است محور قائم نمودار بار وارد شده با پایه پل و نمودار افقی نیز میزان تغییر مکان ناشی از بار وارد بر حسب میلیمتر است. بیشترین مقدار برش پایه مربوط به زلزله طبس می باشد.



شکل (۴-۶): برش پایه در پایه پل تحت زلزله های نزدیک گسل

نمودار شکل (۴-۶) نشان می دهد که پس از رسیدن پایه پل به حداکثر مقاومت مصالح خود دچار تغییر شکل شده و مقاومت آن کاهش می یابد.

و شکل (۵-۶) کرنش محوری پایه پل را نشان می دهد. میزان کرنش در زلزله طبس در تمام طول پایه پل وجود دارد و دو زلزله دیگر از مقدار کمی برخوردارند. کرنش محوری زلزله طبس مقدار بسیار بیشتری نسبت به دو زلزله دیگر را دارا می باشد.



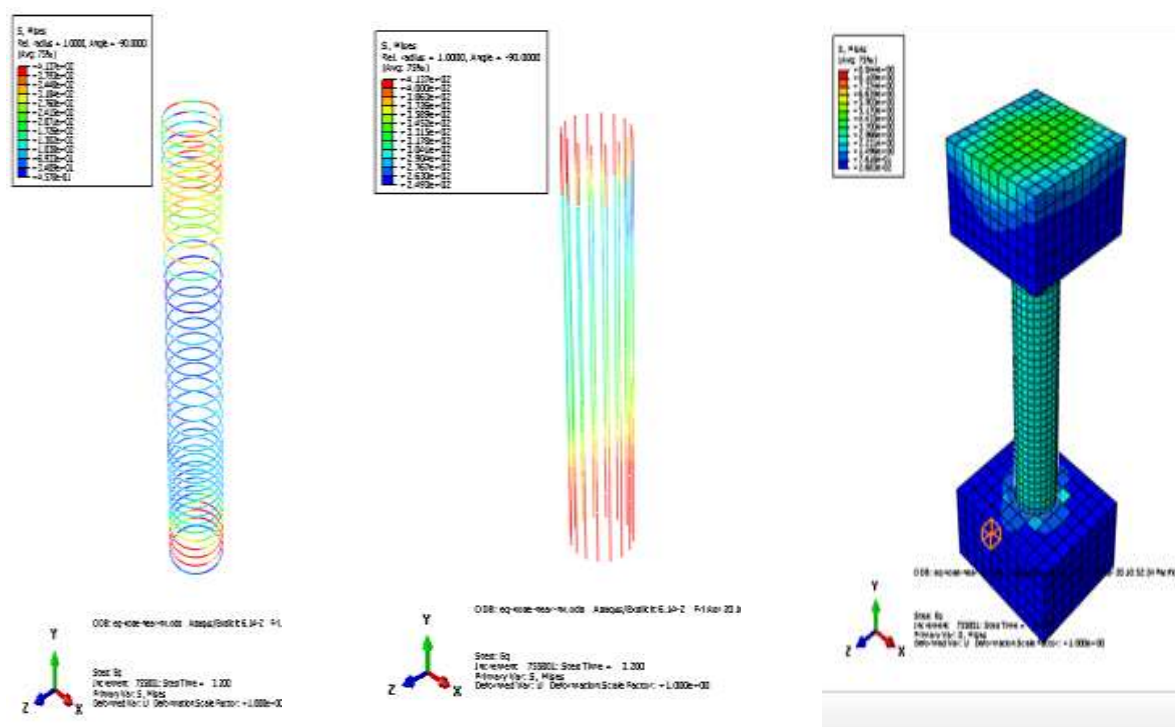
شکل (۶-۶): کرنش جانبی در پایه پل تحت زلزله های نزدیک گسل

شکل (۵-۶): کرنش محوری در پایه پل تحت زلزله های نزدیک گسل

شکل (۶-۶) بیانگر کرنش جانبی در پایه پل نسبت به کرنش محوری است چرا که در تکیه گاه و محل اتصال به کلاهک دارای مقدار قابل توجهی بوده در حالیکه در طول پایه پل با دو زلزله دیگر تقریباً یکسان است.

## ۲-۶ ترکیب رکورد قائم با رکورد افقی زلزله

در این بخش اثر رکوردهای قائم زلزله مورد بررسی قرار خواهد گرفت. گرچه در حالت طبیعی رکوردهای افقی و قائم بطور همزمان به سازه وارد می شوند لیکن در این پژوهش روش تحلیل در نرم افزار در دو گام تعریف می شود بطوریکه در گام اول پایه پل در معرض رکورد قائم قرار گرفته و در گام بعدی رکورد افقی به پایه پل وارد می شود. تأثیر رکورد قائم زلزله بر پایه پل در شکل های زیر ارائه شده است.



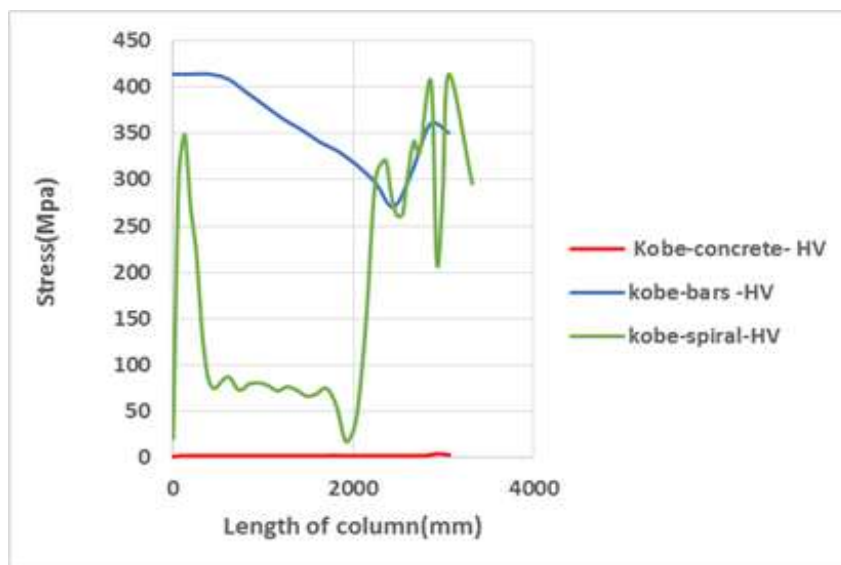
ج- تنش در میلگردهای دور پیچ

ب- تنش در میلگردهای طولی

الف- تنش در بتن

شکل (۶-۷): کانتورهای تنش در پایه پل تحت ترکیب رکورد قائم و افقی زلزله Kobe

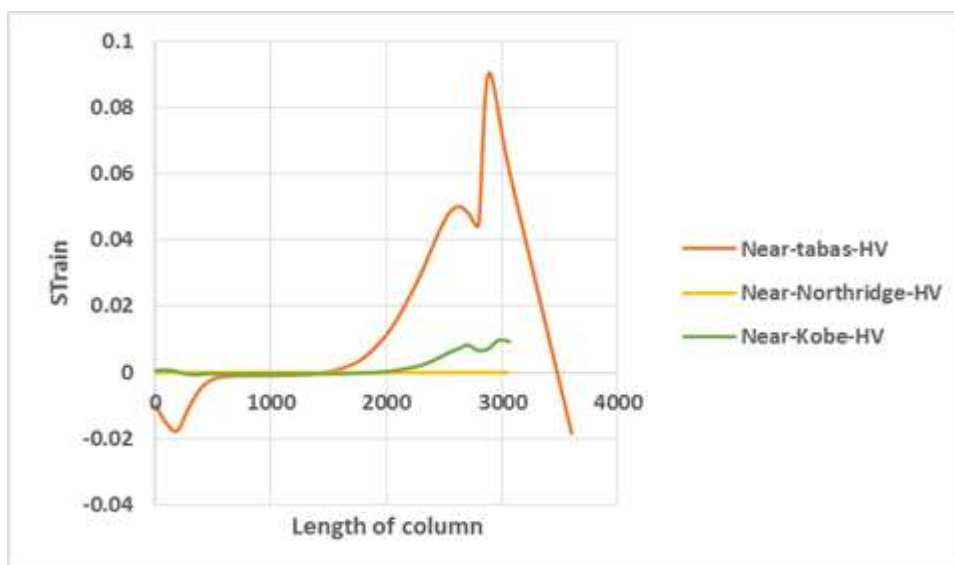
شکل (۶-۷) کانتورهای تنش در اجزاء پایه پل را نشان می دهد چنانچه آن با شکل (۶-۱) مقایسه شود در نگاه اول، رنگ بندی کنتورها تفاوت دو نوع تحلیل را به وضوح بیان می نماید در شکل (۶-۷) با وارد شدن بار قائم به پایه پل ناحیه های زیادی از اجزاء تنش را تحمل کرده و در برخی نقاط به تنش تسلیم رسیده اند. بعنوان نمونه میلگردهای طولی در بر پایه پل و نزدیک کلاهک بالایی دچار تنش تسلیم شده اند. و شکل (۶-۸) نمودار میزان تنش های تولید شده در آنها را نشان می دهد. همانطور که در بخش قبل در رکورد افقی توضیح داده شد. در این قسمت نیز بیشترین مقدار تنش در سازه توسط آرماتورهای طولی و سپس آرماتورهای عرضی (اسپیرال یا دورپیچ ها) و در نهایت توسط بتن تحمل می شود.



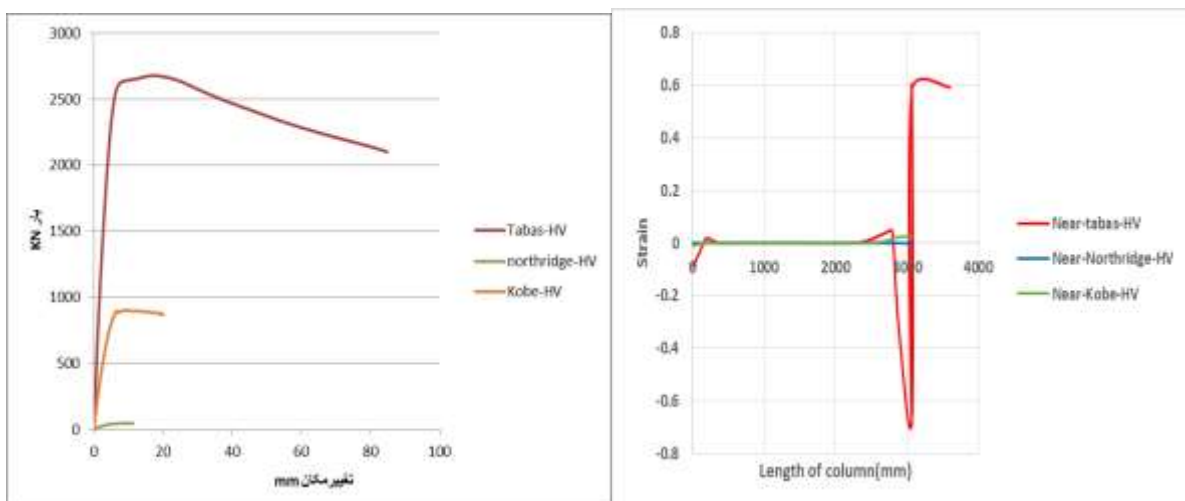
شکل (۶-۸): تنش در اجزاء پایه پل تحت ترکیب رکوردهای افقی و قائم

در شکل (۶-۹) کرنش محوری پایه پل تحت زلزله طبس از دو زلزله دیگر بیشتر است. که بیانگر جابجایی بیشتر پایه پل تحت زلزله طبس است.

در شکل (۶-۱۰) کرنش جانبی پایه پل تحت سه زلزله تقریباً یکسان بوده، فقط در محل اتصال کلاهدک بالایی کرنش ایجاد توسط زلزله طبس از رشد بسیار ناگهانی و چشمگیری برخوردار شده است.



شکل (۶-۹): کرنش های محوری پایه پل تحت ترکیب رکوردهای افقی و قائم زلزله



شکل

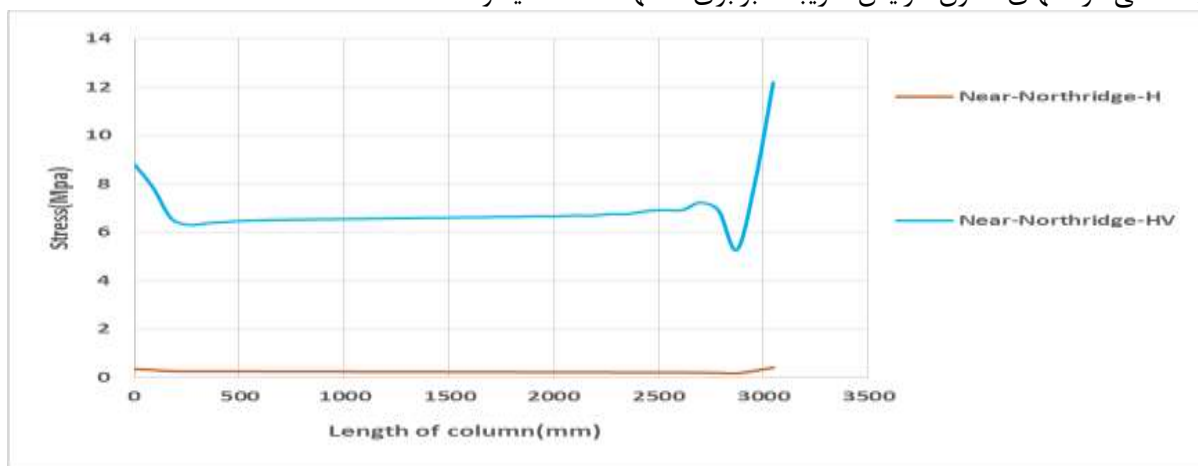
شکل (۶-۱۱): برش پایه ستون پل تحت ترکیب  
رکوردهای افقی و قائم زلزله

شکل (۶-۱۰): کرنش جانبی پایه پل تحت  
ترکیب رکوردهای افقی و قائم زلزله

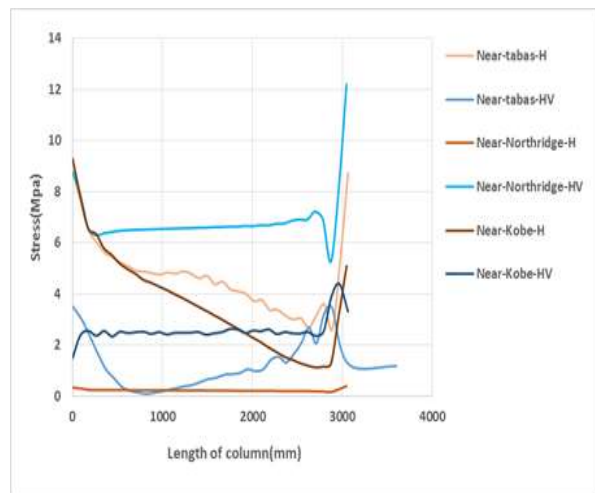
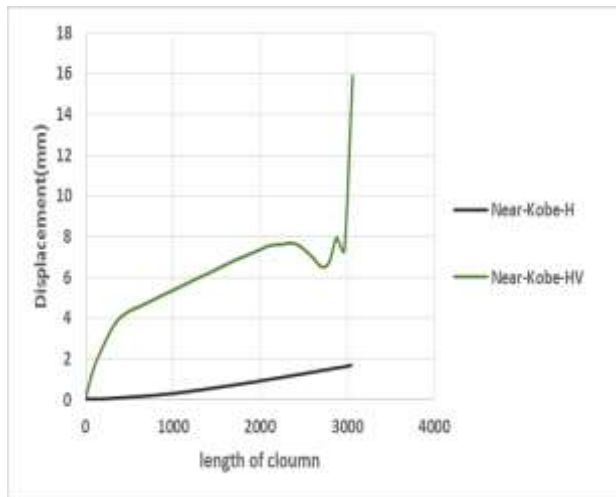
در شکل (۶-۱۱) برش پایه بر حسب تغییر مکان سازه تحت زلزله های مورد نظر رسم شده است. زلزله طیس دارای بیشترین مقدار برش پایه نیز می باشد.

## ۷- قیاس رکورد قائم و افقی زلزله

بمنظور بررسی اثر رکورد قائم بر سازه نمودار های ارائه شده قبلی (H,HV) را بصورت همزمان یعنی رکورد افقی تنها و ترکیب رکورد افقی با قائم در یک نمودار ارائه می شود. در شکل (۷-۱) نمودار تنش بر حسب طول سازه را در دو حالت ترکیب با رکورد افقی و قائم زلزله و همچنین تحت رکورد افقی زلزله را نشان می دهد. بیشترین مقدار تنش مربوط به زلزله نورتریج است مشاهده می گردد که با اعمال رکورد قائم زلزله تنشها در میانه ستون حدوداً ۶ برابر افزایش میابند، حتی در انتهای ستون افزایش تقریباً ۱۲ برابری تنشها مشاهده میشود.

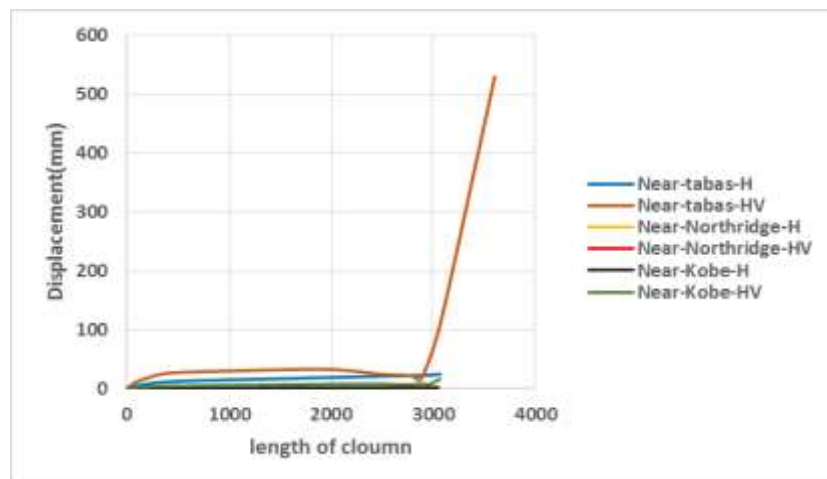


شکل ۷-۱: تنش پایه پل تحت ترکیب رکوردهای افقی و قائم زلزله حوزه نزدیک Northridge

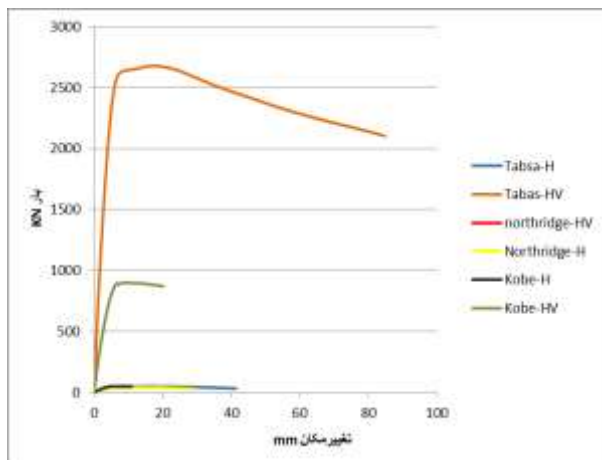


شکل (۷-۲): تنش پایه پل تحت ترکیب رکوردهای افقی و قائم زلزله شکل (۷-۳): جابجایی پایه پل تحت ترکیب رکوردهای افقی و قائم زلزله و رکوردهای افقی زلزله حوزه نزدیک kobe

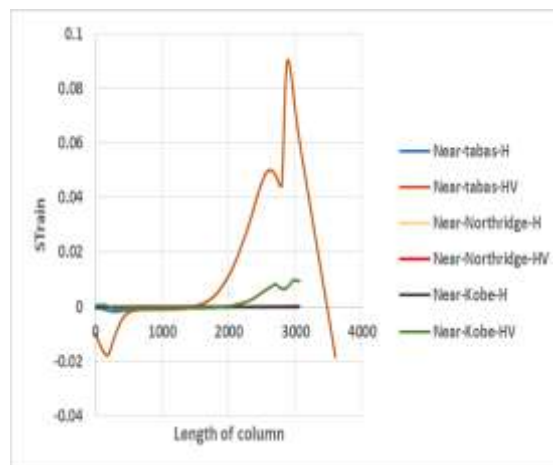
همچنین حداکثر جابجایی تحت ترکیب رکورد افقی وقائم در مقایسه با حالت رکورد افقی در انتهای ستون حدوداً ۸ برابر میگردد که این بیانگر افزایش تغییر مکانها با اعمال رکورد قائم زمین لرزه میباشد که این امر سبب افزایش کرنش اسپیرالها و در نهایت زوال برشی عضو شده و بیانگر آسیب برشی بیش از حد میباشد. به طور کلی می توان گفت که لرزه های قائم موجب تشدید نیروی محوری ستون ها می شود که این امر باعث افزایش تقاضای برشی و خمشی، افزایش تغییر شکل پلاستیک و گسترش شکل گیری مفصل پلاستیک و در نهایت سبب کاهش ظرفیت شکل پذیری اجزای سازه ای می شود



شکل (۷-۴): جابجایی پایه پل تحت ترکیب رکوردهای افقی و قائم زلزله و رکورد های افقی زلزله حوزه نزدیک



شکل (۶-۷): برش پایه در پایه پل تحت ترکیب رکوردهای افقی و قائم زلزله و رکوردهای افقی زلزله حوزه نزدیک



شکل (۵-۷): کرنش محوری پایه پل تحت ترکیب رکوردهای افقی قائم زلزله و رکوردهای افقی زلزله حوزه نزدیک

## ۸- بررسی مودهای شکست

طی بررسی های بعمل آمده در نمودارهای (۱-۷) تا (۶-۷) مربوطه به زلزله های نزدیک گسل ملاحظه می شود در حالتی که پایه پل تحت بارافقی زلزله قرار دارد. نیروی برشی ایجادشده در پای ستون سبب ایجاد شکست در مدل می گردد. عبارتی مد شکست مدل، مد برشی است. با اضافه شدن مولفه قائم به نیروهای وارد بر پایه پل علاوه بر اینکه جابجایی مدل افزایش یافته، مد شکست در این حالت به مد برشی و فشاری تغییر حالت خواهد داشت. عبارتی ابتدا بتن پایه پل در اثر فشار و کشش وارده مقاومت خود را دست می دهد، سپس آرماتورهای عرضی مارپیچ و آرماتورهای طولی دچار شکست خواهند شد. در شکل های فوق موارد مطرح شده را با توجه به تنش های موجود بیان می کند.

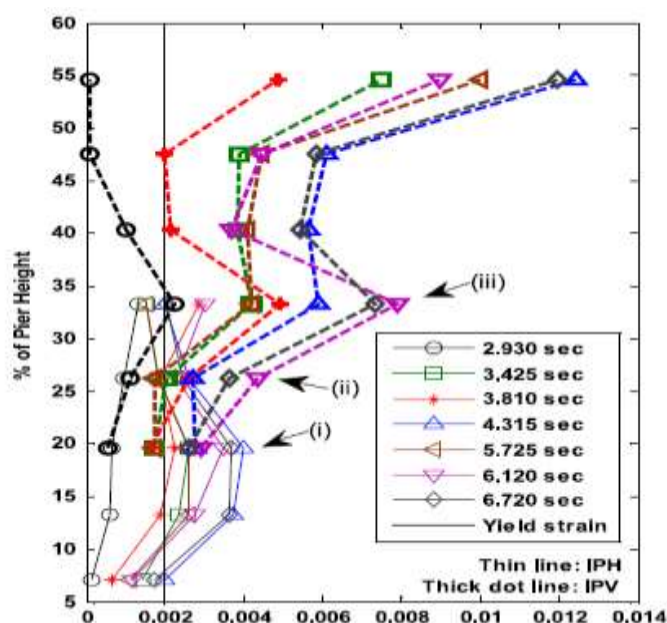
## ۹- ظرفیت برشی پایه پل

یکی از دیگر از عوامل مهمی که تحت تأثیر تغییرات نیروی محوری قرار می گیرد، ظرفیت برشی ستونها است. کاهش و افزایش نیروی محوری می تواند منجر به کاهش / افزایش ظرفیت برشی گردد. بنابراین افزایش شدید نیروی محوری و یا نیروی کششی پدید آمده در ستون سبب کاهش قابل ملاحظه ظرفیت برشی شده که می تواند شکست برشی را در پی داشته باشد.

## ۱۰- توزیع کرنش اسپیرالها:

توزیع کرنش آرماتورهای عرضی مارپیچ در هر پیک جابجایی در شکل (۱۰-۱) نشان داده شده است. روشن است که اثر عمودی حرکت زمین بر کرنش مارپیچها قابل توجه است. کرنش مارپیچها در نمونه تحت اثر افقی زمین لرزه میل به کاهش دارد در وسط دهانه پایه در مقابل در نمونه تحت اثر توام نیروی افقی وقائم زمین لرزه تمایل به افزایش در وسط دهانه پایه پل را دارد از این رو میتوان نتیجه گرفت کرنشهای بزرگ در آرماتورهای عرضی مارپیچ در نمونه تحت نیروی افقی زلزله در ابتدا وانتهاودر نمونه تحت اثر توام نیروی افقی وقائم زمین لرزه در وسط نمونه بوجود می آید.

بنابراین باتوجه به روند مشاهده شده در توزیع فشار و حداکثر کرنش مارپیچها میتوان نتیجه گرفت کرنش مارپیچها تحت اثر مولفه قائم حرکت زمین ۳۰۰ درصد به طور متوسط افزایش میابد. آشکار است که مولفه قائم زمین لرزه ظرفیت برشی رادربتن کاهش داده بنابراین شاهد افزایش تقاضای کرنشی در مارپیچها میشود.



شکل (۱۰-۱): توزیع کرنش اسپیرالها در هر پیک جابجایی

## ۱۱-نتایج

۱- حرکات قائم زمین تنوع نیروی محوری را در نمونه های آنالیز شده تا ۱۰۰ درصد افزایش میدهند، این تنوع نیروی محوری بالامنجر به نوسان سختی جانبی و ترک خوردگی شدیدتر و در نتیجه خسارت بیشتر میگردد، علاوه بر این حرکات قائم زمین به طور قابل توجهی تحت تاثیر قراردادن کرنش اسپیرالها را، حداکثر کرنش اسپیرالها تحت حرکات افقی زمین در ۲۰ درصد ارتفاع نمونه بوجود می آیند در حالی که تحت ترکیب نیروی افقی وقائم حداکثر کرنش اسپیرالها در ۵۵ درصد ارتفاع نمونه بوجود می آیند، در واقع کرنش اسپیرالها به طور متوسط در نمونه های آنالیز شده ۳۰۰ درصد افزایش را نشان میدهد.

۲- مدهای شکست پایه پل تحت رکوردهای افقی زلزله، شکست برشی است در حالیکه در رکوردهای قائم علاوه بر شکست برشی، نیروی کششی و فشاری نیز خود سبب ایجاد نوع دیگری از شکست را در سازه بوجود آورند.

۳- مولفه قائم زلزله با اعمال نیروهای محوری متغیر سبب کاهش ظرفیت برشی پایه پل می شوند. اثرات زلزله نزدیک گسل بمراتب بیشتر از زلزله های دور از گسل است.

۴- پاسخ ستون های پل بتن مسلح در زلزله های دور و نزدیک گسل با هم متفاوت بوده و عمدتاً زلزله های نزدیک گسل از اثرات بیشتری نسبت به زلزله های دور از گسل برخوردارند.

۵- ستون پل هایی که تحت رکورد قائم زلزله قرار گیرد، از تغییرمکان، تنش، جابجایی، کرنش طولی و جانبی بیشتری نسبت به سازه ای که تحت رکورد افقی برخوردار خواهد بود.

## ۱۲-مراجع و منابع

- [1] Y. a. T. Komachi, M.R, "Investigation of directivity effects of near fault records on the response of jacket platforms," 1th conference on urban construction in the vicinity of active fault., 2011.
- [2] تابش پور. م.ر. "تفسیر مفهومی کاربردی آییننامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله," انتشارات گنج ۱۳۹۰. هنر، تهران.
- [3] B. A. Bolt, "Seismic input motions for nonlinear structural analysis," Journal of earthquake technology vol. paper no.448 December 2004.
- [4] A. G. K. Galal, "effect of near - fault earthquake on North American nuclear design spectra," Nuclear Engineering Design , Elsevier, february 2006.
- [5] W. J. Silva, "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, 1997.
- [6] J. Yang , Lee, C.M., "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, 2007
- [7] ش. ح. وهمکاران, "طیف طرح زلزله برای ایران," گزارش تحقیقاتی، شماره نشریه : گ - ۴۳۰، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۵.
- [8] M. A. Saadeghvaziri, Foutch, D.A., "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, 1991.
- [9] C. P. Yu, Broekhuizen, D. S., Roesset, J. M., Breen, J. E., and Kreger, M. E, "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,, 1997.
- [10] Y. Xiao, Esmaeily-G, Asad., "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, 1999.
- [11] C. M. R. Button, C.J., Mayes, R.L., , "Effect of vertical motions on seismic response of highway bridges," Journal of Structural Engineering 128 (12), pp. 1551-1564, , 2002.
- [13] S. K. Kunnath, Erduran, E., Chai, Y.H., Yashinsky, "Effect of near-fault vertical ground motions on seismic response of highway overcrossings," Source of the Document Journal of Bridge Engineering 13 (3), pp. 282-290,, 2008.