بررسی رفتار لرزه‌ای پلهای بتنی چند دهانه با دال پیوند

حمیدرضا پناهی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
اکبر واثقی، استادیار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

۱- چکیده

پلهای جاده‌ای از عمده‌ترین و مهمترین سازه‌های واقع در شریانهای حیاتی شهری و برون‌شهری هستند. پلهای چند دهانه ساده بتنی، به عنوان یکی از پرکاربردترین انواع پل جهت استفاده در دهانه‌های کوتاه و متوسط مطرح می‌باشند. این پلها همواره در معرض خطر افتادن عرشه در محل درزهای انبساط در طول زلزله می‌باشند. پلهای متعددی در زمین‌لرزه‌های گذشته به دلیل سقوط عرشه از تکیه‌گاه، نشیمنگاه و یا درزهای انبساط تخریب شده‌اند. این نحوه شکست در صورت حذف درزهای انبساط و استفاده از دال پیوند قابل برطرف کردن است. دال پیوند معمولاً در پلهای دهانه ساده برای کاهش یا حذف درزهای انبساط و اجتناب از مشکلات ناشی از آن به کار می‌رود. این مقاله نتایج مطالعه تحلیلی بر روی رفتار و پاسخ لرزه‌ای پلهای بتنی چند دهانه که توسط دال پیوند به یکدیگر متصل شده‌اند را ارائه می‌دهد. از مدلهای سه بعدی برای ارزیابی پاسخ لرزه‌ای این پلها استفاده شده است. دو نوع تحلیل طیفی و تاریخچه زمانی خطی در دو راستای عرضی و طولی بر روی مدلها انجام گرفته است.

نتایج نشان می‌دهد که با جایگزینی درزهای انبساط توسط دال پیوند، پریود طبیعی پلها دچار کاهش و برش پایه در آن افزایش می‌یابد. همچنین دال پیوند باعث کاهش در تقاضای لرزه‌ای پایه داخلی در هنگام وقوع زلزله در راستای عرضی خواهد شد.

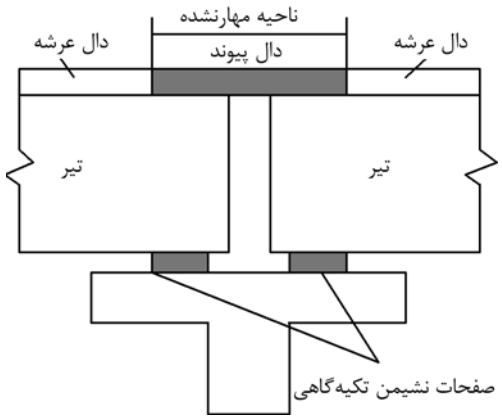
کلیدواژه‌ها: پل، درز انبساط، دال پیوند، زلزله

۲- مقدمه

پلهای بزرگراهی از عمده‌ترین و مهمترین سازه‌های واقع در شریانهای حیاتی شهری و برون‌شهری هستند. یکی از سیستم‌های رایج برای اجرای پلهای جاده‌ای، پلهای بتنی با عرشه تیر و دال می‌باشند. در این سیستم، عرشه مرکب از تیر و دال برای تحمل نیروهای ثقلی انتخاب می‌شود. در انتهای هر عرشه، درز انبساط جهت حرکت عرشه ناشی از تغییرات دمایی، زلزله و ... ایجاد می‌شود. بدون ایجاد درز، انبساط عملکرد حرارتی عرشه دچار اختلال می‌گردد. استفاده از درزهای انبساط مشکلاتی را نیز در پی دارد. انباشت مواد زائد در درزها می‌تواند باعث جلوگیری از انبساط عرشه شود و نیروهای ناخواسته‌ای را در عرشه ایجاد کند. همچنین نفوذ آب از درزها باعث تخریب سرستون خواهد شد که با از بین بردن نشیمنگاه تیرها، احتمال سقوط تیرها را بیشتر می‌کند. پلهای متعددی در زمین‌لرزه‌های گذشته به دلیل سقوط عرشه از تکیه‌گاه، نشیمنگاه و یا درزهای انبساط تخریب شده‌اند. بهسازی لرزه‌ای این نوع خرابی‌ها نسبتاً ساده است و هزینه زیادی ندارد. از اینرو اکثر تلاشهای بهسازی تا به امروز در جهت متصل ساختن پلها در نواحی درزهای انبساط آنها صورت گرفته است. از جمله این روشها می‌توان به استفاده از مهارکننده‌ها در جهت طولی پل اشاره کرد. استفاده از دال پیوند نیز می‌تواند به عنوان روشی مناسب برای بهسازی پل مورد استفاده قرار گیرد.

در اجرای سیستم دال‌پیوند درزهای عرشه با پیوسته نمودن عرشه، بدون ایجاد پیوستگی در تیرها حذف می‌شود. بخشی از عرشه که تیرهای دهانه ساده را به یکدیگر متصل می‌کند، دال پیوند نامیده می‌شود. جهت اجرای دال پیوند، حدود ۵٪ طول انتهایی دال عرشه در دو طرف تخریب می‌گردد و دال جدید بر روی تیرها و با استفاده از آرماتورهای تقویتی پیاده می‌شود. جهت افزایش انعطاف‌پذیری و جلوگیری از تمرکز تنش در دال پیوند، اتصالات برشی بین تیر و دال در مجاورت درز حذف می‌گردند و تیر و دال در ۵٪ طول انتهایی تیرها به صورت ناپیوسته اجرا می‌گردند.

حذف اتصالات برشی در دو انتها از تمرکز تنش در دال پیوند تحت اثر بار ترافیک جلوگیری می‌کند، شکل (۱).



شکل (۱): *شکل شماتیک دال پیوند.*

جایگزینی درزهای انبساط توسط دال پیوند در عرشه پلها باعث ایجاد پیوستگی جزئی در سیستم عرشه خواهد شد و تغییرات عمده‌ای را در رفتار دینامیکی پل و همچنین توزیع نیرو و جابه‌جایی ایجاد می‌کند. این تغییرات ضرورت انجام مطالعات تحلیلی و پارامتریک بر روی پلهای با سیستم دال پیوند را مشخص می‌سازد. در این تحقیق با بهره‌گیری از مدلسازی مناسب اثر این تغییرات بر رفتار لرزه‌ای پل مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین با در نظر گرفتن متغیرهایی مانند تعداد دهانه‌ها و طول دهانه به اثرگذاری این متغیرها بر روی رفتار دال پیوند پرداخته می‌شود.

در یکی از نخستین تلاشها، گاستال و زیا [۱] در سال ۱۹۸۰ تحلیل المان محدودی را برای بررسی پلهای بدون درز توسعه دادند. این تحلیل برای خواص غیرخطی مصالح، ترک در بتن، خزش، جمع‌شدگی، اثرات دما و تغییر در بارگذاری انجام شد. زاک [۲] در سال ۱۹۸۱ اصول ساخت عرشه‌های بدون درز روی تیرهای دهانه ساده را مورد مطالعه قرار داد. او اثر انبساط و انقباض عرشه‌های بدون درز و نیروهای اندرکنشی بین تیر و عرشه را تحلیل کرد.

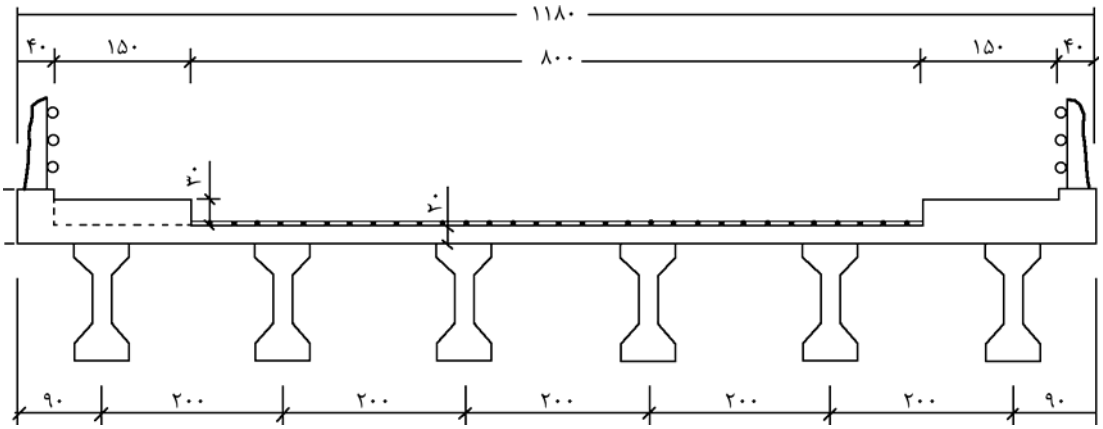
ریچاردسون نیز در سال ۱۹۸۹ [۳] حذف درزهای انبساط از پلها و ایجاد دال پیوند و پیوستگی جزئی در عرشه را مورد بررسی قرار داد و روش طراحی ساده‌ای را پیشنهاد کرد. در یکی از جامع‌ترین تحقیقات انجام شده، کانر و زیا [۴] در سال ۱۹۹۸ روش ساده‌ای برای تحلیل و طراحی پلهای با دال پیوند ارائه کردند. در این روش فرض بر این است که به علت سختی کمتر دال پیوند نسبت به سختی تیرها، دال پیوند پیوستگی ناچیزی به سازه وارد می‌کند؛ بنابراین هر دهانه پل به عنوان تیر دهانه ساده مورد تحلیل قرار می‌گیرد. دال پیوند به عنوان تیری تحت اثر چرخش انتهای منتقل شده از تیرهای مجاور تحلیل می‌شود. در سالهای بعد نیز تحقیقات متعددی بر روی این روش ادامه یافت. استفاده از مواد جایگزین بتن نیز در دال پیوند مورد بررسی قرار گرفت. در سال ۲۰۰۵ نیز اکایل و السیفتی [۵] معادلات سه لنگری را برای استفاده در پلهای پیوسته با دال‌پیوند ارائه دادند و با استفاده از این روابط روش تحلیلی خط تأثیر را برای پلهای با سیستم دال پیوند گسترش دادند.

استفاده از سیستم دال پیوند برای بهسازی پلهای چند دهانه توسط کانر و همکاران [۶] در سال ۲۰۰۲ مورد بررسی قرار گرفت. در این روش ابتدا نیاز پل به بهسازی با مقایسه جابه‌جایی در نشیمنگاهها تحت اثر بار لرزه‌ای با جابه‌جایی مجاز بررسی می‌شود؛ سپس در صورت نیاز به بهسازی، درز انبساط با دال پیوند جایگزین می‌گردد. دال پیوند نیز ابتدا توسط روش مرسوم و تحت اثر بارهای غیرلرزه‌ای طراحی می‌شود سپس کفایت آن تحت بار لرزه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد. واثقی و همکاران [۷] در سال ۲۰۰۶ پلهای دو دهانه با زاویه انحرافهای مختلف را مورد بررسی قرار دادند. پلها به صورت سه بعدی مدلسازی شدند و آنالیز طیف پاسخ و تاریخچه زمانی خطی بر روی مدلها انجام گرفت و پاسخ پل با دال پیوند با پل با تکیه‌گاه ساده مقایسه شد. نتایج تحلیل نشان داد که وقتی بار زلزله در جهت طولی اعمال می‌شود، پاسخ پایه داخلی برای دو نوع پل (با سیستم دال پیوند و درز انبساط) تفاوت مهمی ندارد، ولی در جهت عرضی پاسخ پایه داخلی تغییرات قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. جابه‌جایی جانبی با زاویه انحراف افزایش می‌یابد و جابه‌جایی جانبی به صورت قابل ملاحظه‌ای با جایگزینی دال پیوند کاهش می‌یابد. همچنین جایگزینی درزهای انبساط بوسیله دال پیوند وقتی‌که تقاضای لرزه‌ای روی پایه‌های داخلی بالاتر از ظرفیت آنها باشد را به عنوان ابزاری مفید برای بهسازی لرزه‌ای پلهای چند دهانه معرفی کردند.

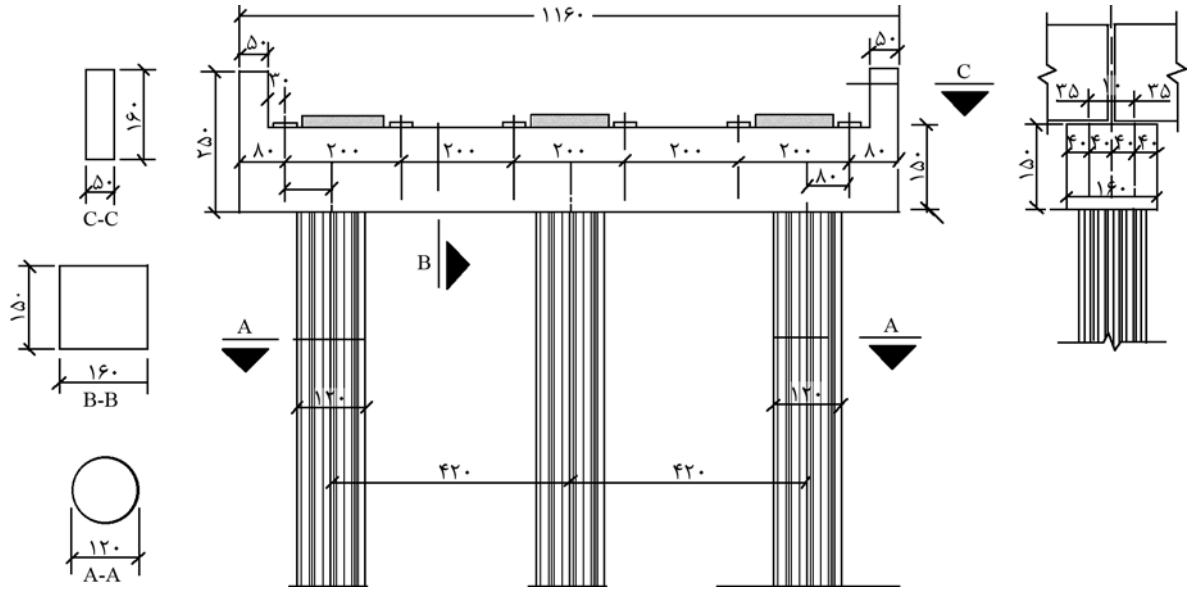
۳- روش انجام مطالعات

در این تحقیق به طور کلی چهار دسته پل بتنی تیر و دال مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این پلها شامل پلهای دو دهانه، سه دهانه با دهانه‌های برابر، سه دهانه با دهانه‌های نابرابر و پلهای چهار دهانه می‌باشند. تمامی پلها حداقل به دو صورت با سیستم درز انبساط و سیستم دال پیوند تحلیل شده‌اند. ضمن این که در پلهای چهار دهانه، پلهای با سیستم دال پیوند با دو آرایش متفاوت مورد بررسی قرار گرفتند؛ در آرایش اول هر سه درز انبساط عرشه با دال پیوند جایگزین شده است و در آرایش دوم فقط دو درز انبساط واقع بر قابهای کناری توسط دال پیوند جایگزین شده است. ابعاد عرشه پل و مقطع عرضی آن در تمامی مدلها یکسان است. در تمامی پلها ارتفاع پایه‌های میانی ۸/۵ متر می‌باشد. عرشه در این پلها متشکل از شش عدد تیر بتن مسلح پیش‌ساخته می‌باشد که به صورت تیرهای تکیه‌گاه ساده بر روی صفحات نشیمن قرار گرفته‌اند. تیرها در فواصل ۲ متر از یکدیگر قرار گرفته و به صورت مرکب با دال به ضخامت ۲۰ سانتیمتر برای تحمل بارهای وارده در نظر گرفته شده‌اند. در هر دهانه، عرشه دارای ۳ دیافراگم عرضی بتنی می‌باشد. یکی از این سه دیافراگم در وسط دهانه و ۲ دیافراگم در دو انتهای عرشه در محل تکیه‌گاهها قرار دارند. مقطع عرضی پلها در شکل (۲) نشان داده شده است.

پایه میانی متشکل از سه ستون مدور به قطر ۱/۲ متر و ارتفاع ۷ متر که در فواصل ۴/۲ متر قرار دارند می‌باشد که به سر ستونی به ابعاد ۱/۵×۱/۶ متر منتهی می‌گردد. جزئیات پایه میانی در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۲): *مقطع عرضی پلها (واحد= سانتیمتر).*



شکل (۳): *جزئیات پایه میانی (واحد= سانتیمتر).*

۴- نحوه مدلسازی

مدلسازی و تحلیل پلها با استفاده از نرم‌افزار *Sap2000* ویرایش دوازدهم، به صورت سه بعدی انجام شده است. دال پیوند و دال عرشه با استفاده از المان پوسته (*Shell*) و تیرها با استفاده از المان قاب (*Frame*) مدل شده‌اند و با کمک المانهای صلب به یکدیگر متصل شده است. دیافراگم‌های عرضی نیز با المان پوسته مدل شده است. این اعضا به موازات تکیه‌گاهها و بین جان تیرهای طولی قرار دارند. پایه میانی و اجزاء آن نیز با المان قاب مدلسازی شده است. برای مدلسازی نشیمنگاههای الاستومری از المان پیوند (*Link*) با سختی قائم ۱۳۵۹۰۰ تن بر متر، سختی جانبی ۲۴/۳۳۶ تن بر متر و سختی پیچشی ۴/۸ تن بر متر استفاده شده است. در مدلسازی از بتن با مقاومت مشخصه $f'_c=280kg/cm^2$ و $E_c=2.5*10^5kg/cm^2$ استفاده شده است. تکیه‌گاه در کوله‌ها به علت سختی بسیار زیاد کوله‌ها توسط فنرهای الاستومر به نقاط تکیه‌گاهی صلب متصل شده‌اند. اتصال پای ستونها نیز به صورت گیردار کامل تعریف شده است و اتصال عرشه به سرستون نیز توسط المانهای پیوند به جای الاستومرها مدلسازی شد. جهت مقید کردن عرشه در راستای عرضی به جای مدلسازی مستقیم بلوکهای برشی سختی المانهای پیوند در جهت عرضی بسیار بالا در نظر گرفته شده است.

۵- روش تحلیل

در این تحقیق از دو نوع تحلیل دینامیکی طیفی و تاریخچه زمانی خطی استفاده شده است. تحلیل دینامیکی طیفی با فرض رفتار الاستیک خطی سازه و با استفاده از حداکثر بازتاب کلیه مدهای نوسانی سازه که در بازتاب کل سازه اثر قابل توجهی دارند، انجام می‌گیرد. طیف مورد استفاده در این تحقیق برای زمین نوع *II* و با شتاب مبنای ۰/۳۵ متناظر با خطر نسبی خیلی زیاد در نظر گرفته شده است. در تحلیل دینامیکی، تاریخچه زمانی بازتاب‌های دینامیکی پل تحت اثر زلزله به صورت تابعی از زمان مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام تحلیل تاریخچه زمانی از سه شتابنگاشت طبس، کوبه و چی- چی استفاده شده است.

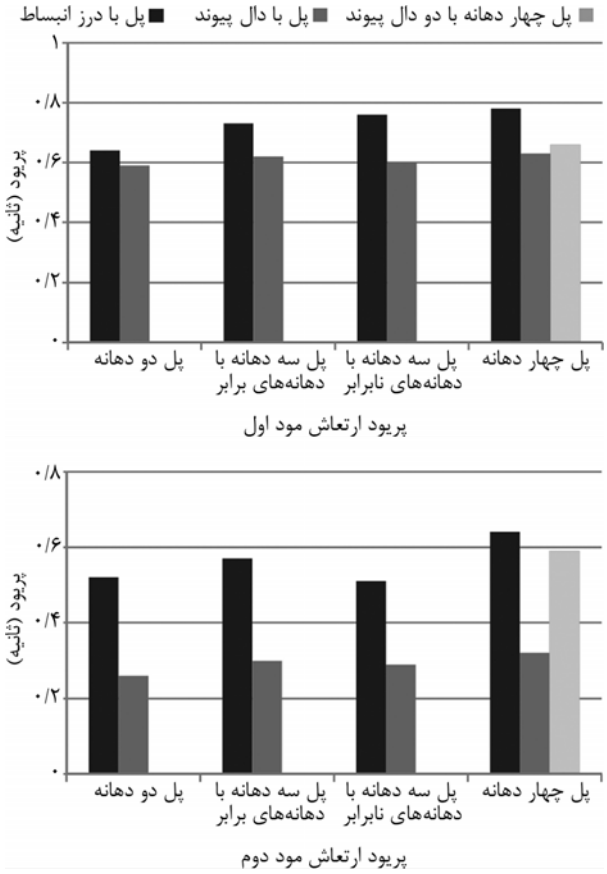
۶- بررسی نتایج تحلیل

نتایج حاصل از تحلیل در سه قالب کلی: مشخصات دینامیکی سازه، نیروهای داخلی و جابه‌جایی به تفکیک مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۶-۱- بررسی مشخصات دینامیکی

۶-۱-۱- پریودها و مودهای ارتعاش

در شکل (۴)، مقادیر پریودها در حالات مختلف با یکدیگر مقایسه شده است. جابه‌جایی عرشه در جهت طولی مود اول ارتعاش و جابه‌جایی در جهت عرضی مود دوم ارتعاش می‌باشد.



شکل (۴): *پریود ارتعاش.*

جایگزینی درزهای انبساط توسط دال پیوند باعث کاهش قابل‌توجه پریودهای ارتعاش می‌گردد، که البته این کاهش در جهت عرضی (مود دوم) بسیار چشمگیر می‌باشد. این کاهش ناشی از افزایش سختی عرشه به سبب یکپارچگی دال می‌باشد. در پلهای با سیستم دال پیوند عرشه به صورت یک جسم یکپارچه ارتعاش می‌نماید.

۶-۱-۲- برش پایه

در جدول (۱)، مقایسه‌ای بین نیروهای برشی در دو راستای طولی و عرضی حاصل از تحلیل طیفی برای دو حالت دهانه ساده و دال پیوند در پلهای مختلف ارائه شده است.

به طور کلی جایگزینی درز انبساط با دال پیوند باعث افزایش نیروی برش پایه پلها می‌شود. افزایش سختی و کاهش پریود علت افزایش برش پایه پل می‌باشد.

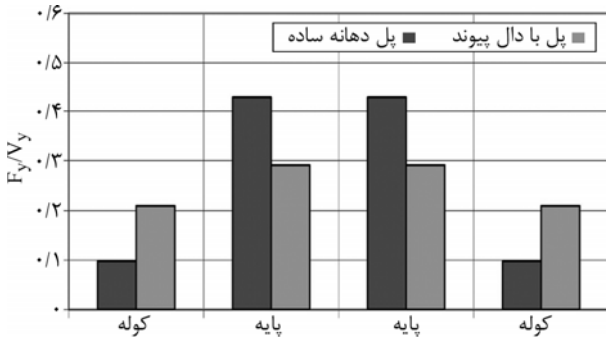
شکل (۵): *نسبت عکس‌العمل طولی به برش پایه در راستای طولی در پل سه‌دهانه با دهانه‌های برابر.*

۶-۲- توزیع نیروها و عکس‌العمل‌های کل سیستم

برای بررسی نحوه توزیع نیروی برش پایه بین اجزا پل، نسبت حداکثر عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی حاصل از تحلیل طیفی کوله و پایه به برش پایه در دو راستای طولی و عرضی مورد بررسی قرار گرفته است.

در پلهای دو دهانه و سه دهانه، تحت اثر طیف طولی، نسبت عکس‌العمل پایه‌ها به برش پایه با اضافه شدن دال پیوند کمی افزایش می یابد. این نسبت در کوله ها کمی کاهش می‌یابد. تحت اثر طیف عرضی، نسبت عکس‌العمل پایه‌ها به برش پایه، با جایگزینی دال پیوند کاهش قابل‌توجهی می‌یابد. در کوله‌ها نسبت عکس‌العمل عرضی تکیه‌گاهها به برش پایه با جایگزینی دال پیوند افزایش می‌یابد. شدت تغییرات نسبت عکس‌العمل به برش پایه در جهت عرضی بیشتر از جهت طولی می‌باشد. به عنوان نمونه مقادیر نسبت عکس‌العمل به برش پایه در پلهای سه دهانه با دهانه‌های برابر در نمودارهای شکلهای (۵) و (۶) نشان داده شده است.

در پلهای چهار دهانه تحت اثر طیف طولی، نسبت عکس‌العمل کوله‌ها در راستای طولی با جایگزینی درز انبساط با دال پیوند دچار تغییر محسوسی نمی‌شود. در دو پایه کناری تحت اثر طیف طولی، نسبت عکس‌العمل طولی به برش پایه

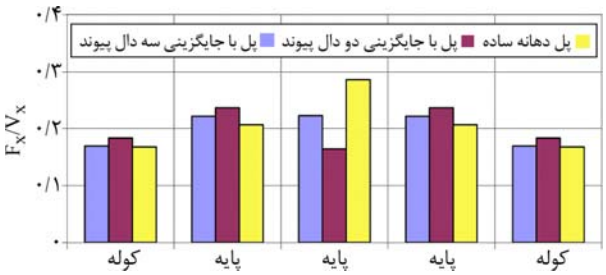


شکل (۶): *نسبت عکس‌العمل عرضی به برش پایه در راستای عرضی در پل سه‌دهانه با دهانه‌های برابر.*

طولی در پایه‌ها با جایگزینی دال پیوند در پلها افزایش یافته است که این افزایش در حالتی که هر سه درز انبساط توسط دال پیوند جایگزین گردیده کمتر از حالتی است که فقط دو درز انبساط کناری با دال پیوند جایگزین می‌شوند. در پایه میانی تحت اثر طیف طولی، نسبت عکس‌العمل به برش پایه با جایگزینی درز انبساط توسط دال پیوند دچار کاهش می‌شود که این کاهش در حالتی که تنها دو درز انبساط کناری با دال پیوند جایگزین شده است، بیشتر از حالتی است که هر سه درز انبساط توسط دال پیوند جایگزین شده است. شکل (۷) نسبت عکس‌العمل به برش پایه پل چهار دهانه تحت اثر زلزله در جهت طولی پل را نشان می‌دهد.

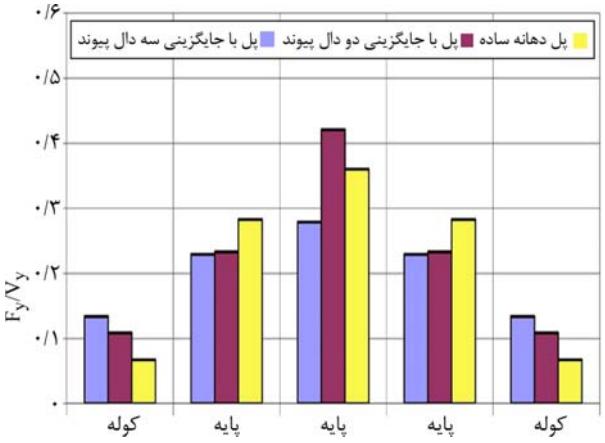
جدول (۱): *برش پایه حاصل از تحلیل طیفی.*

	پل چهار دهانه با دو دال پیوند	پل چهار دهانه با سه دال پیوند	پل چهار دهانه ساده	پل سه دهانه با دال پیوند و دهانه برابر	پل سه دهانه ساده با دهانه برابر	پل سه دهانه با دال پیوند و دهانه متفاوت	پل سه دهانه ساده با دهانه‌های متفاوت	پل دو دهانه با دال پیوند	پل دو دهانه ساده
برش پایه در راستای طولی	۱۰۳۳/۹	۱۰۵۵	۸۵۲/۹	۷۹۲/۵	۶۷۴/۲	۷۶۱/۷	۵۶۹/۹	۵۲۸/۷	۵۱۳/۴
برش پایه در راستای عرضی	۱۱۳۱/۲	۱۲۶۴	۱۱۶۵	۹۵۴/۸	۸۵۱/۲	۸۸۱/۱	۷۷۰/۴	۶۲۰/۶	۵۳۲/۶



شکل (۷): *نسبت عکس‌العمل به برش پایه در راستای طولی در پل چهاردهانه.*

شکل (۸) نسبت عکس‌العمل به برش پایه پل چهار دهانه تحت اثر زلزله در جهت عرضی پل را نشان می‌دهد. تحت اثر طیف عرضی، نسبت عکس‌العمل کوله‌ها به برش پایه با جایگزینی دال پیوند افزایش می‌یابد که میزان این افزایش با جایگزینی هر سه درز انبساط با دال پیوند بیشتر می‌باشد. نسبت عکس‌العمل پایه‌های کناری به برش پایه با جایگزینی دال پیوند کاهش می‌یابد که این کاهش در جایگزینی هر سه درز انبساط در پلها با دال پیوند بیشتر می‌باشد. در حالتی که هر سه درز انبساط توسط دال پیوند جایگزین شده است، نسبت عکس‌العمل پایه میانی به برش پایه نیز، نسبت به حالت دهانه ساده کاهش می‌یابد.



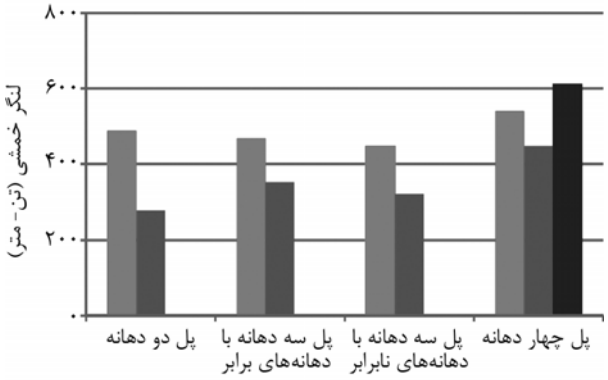
شکل (۸): *نسبت عکس‌العمل عرضی به برش پایه در راستای عرضی در پل چهار دهانه.*

۶-۳- توزیع نیرو در ستونهای هر پایه

۶-۳-۱- لنگر خمشی ستونها

به عنوان نمونه لنگر خمشی موجود در پای ستون در شکل (۹) در دو حالت پلهای با درز انبساط و پلهای با دال پیوند با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

الف) لنگر خمشی ستون کناری قاب میانی تحت اثر طیف طولی



ب) لنگر خمشی ستون کناری قاب میانی تحت اثر طیف عرضی

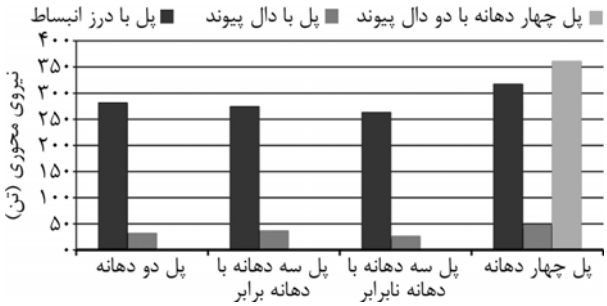
شکل (۹): *لنگر خمشی ستون کناری قاب میانی.*

با جایگزینی دال پیوند در پلها، لنگرهای ماکزیمم موجود در ستون میانی و کناری در قاب میانی کاهش می‌یابد. این کاهش تحت اثر طیف عرضی بیشتر از طیف طولی می‌باشد. در پلهای چهار دهانه با جایگزینی دو درز انبساط کناری توسط دال پیوند، در ستونهای میانی و کناری قاب کناری تحت اثر طیف طولی و عرضی، باز هم می‌توان شاهد کاهش لنگر در این ستونها بود. البته در قاب میانی که درز انبساط روی آن بدون تغییر باقی مانده است، لنگر در ستونهای میانی و کناری تحت اثر طیف طولی کاهش می‌یابد، اما تحت اثر طیف عرضی، لنگر در ستونها افزایش می‌یابد.

۶-۳-۲- نیروی محوری ستونها

در این بخش به بررسی اثر جایگزینی دال پیوند بر روی نیروی محوری ستونهای قابهای پل تحت اثر طیف طولی و عرضی پرداخته می‌شود. به علت نیروی محوری بسیار کم و تقریباً ناچیز حاصل از طیف طولی، فقط نیروی محوری

ایجاد شده تحت اثر طیف عرضی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در نمودار شکل (۱۰) نیروی محوری ستونها تحت اثر طیف عرضی ارائه شده است.



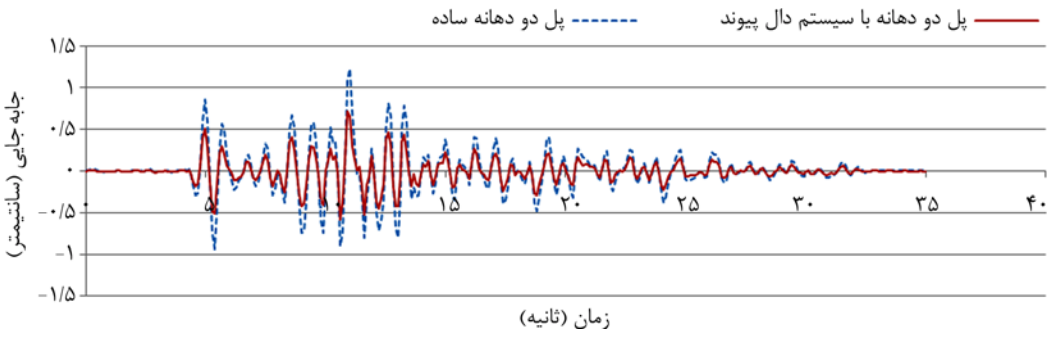
شکل (۱۰): *نیروی محوری در ستون.*

به طور کلی با جایگزینی درز انبساط با دال پیوند، نیروی محوری در ستونها تحت اثر طیف عرضی کاهش می‌یابد. اما در پلهای چهار دهانه در مدلی که فقط دو درز انبساط کناری توسط دال پیوند جایگزین شده‌اند، نیروی محوری در ستون پایه میانی افزایش می‌یابد.

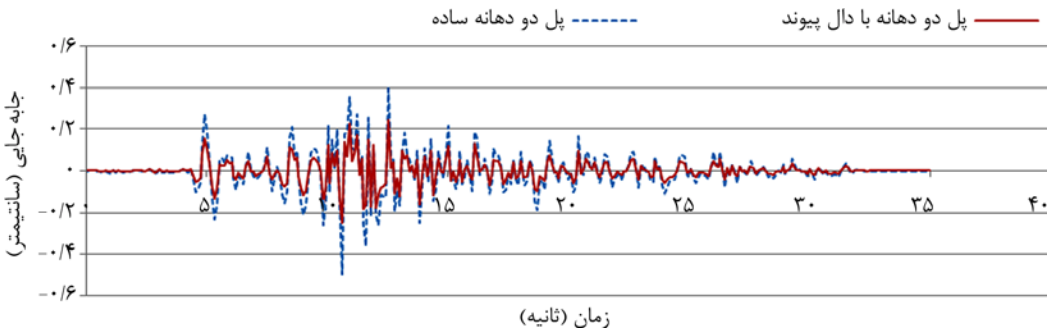
۶-۴- بررسی نتایج تحلیل تاریخچه زمانی

تحلیل تاریخچه زمانی در تمامی مدلها با استفاده از سه شتابنگاشت اصلاح شده طبس، کوبه و چی- چی انجام گردید. با استفاده از تاریخچه زمانی تغییرمکان نقاطی واقع بر روی سر ستون، اثر جایگزینی درزهای انبساط توسط دال پیوند مورد بررسی قرار می‌گیرد. این نقاط در محل تقاطع ستون میانی و سر ستون در نظر گرفته شده است. در پلهای دو دهانه به علت تقارن تنها یک نقطه در نظر گرفته شده است و در پلهای چهار دهانه دو نقطه یکی بر روی پایه میانی و دیگری در پایه کناری برای مقایسه در نظر گرفته شده است. جهت ارائه نمونه‌ای از نتایج تحلیل تاریخچه زمانی، تاریخچه زمانی تغییرمکان طولی و عرضی پل دو دهانه تحت اثر شتابنگاشت زلزله طبس در شکلهای (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است.

این شکلها به وضوح کاهش مقادیر جابه‌جایی را با جایگزینی درزهای انبساط توسط دال پیوند در پل دو دهانه را نشان می‌دهد. ماکزیمم جابه‌جایی در جهت طولی از ۱/۲۳ سانتیمتر به ۰/۷۲ سانتیمتر و ماکزیمم جابه‌جایی عرضی از ۰/۵ سانتیمتر به ۰/۲۵ سانتیمتر کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی تحت اثر شتابنگاشتهای زلزله‌های مختلف، نشاندهنده کاهش مقادیر

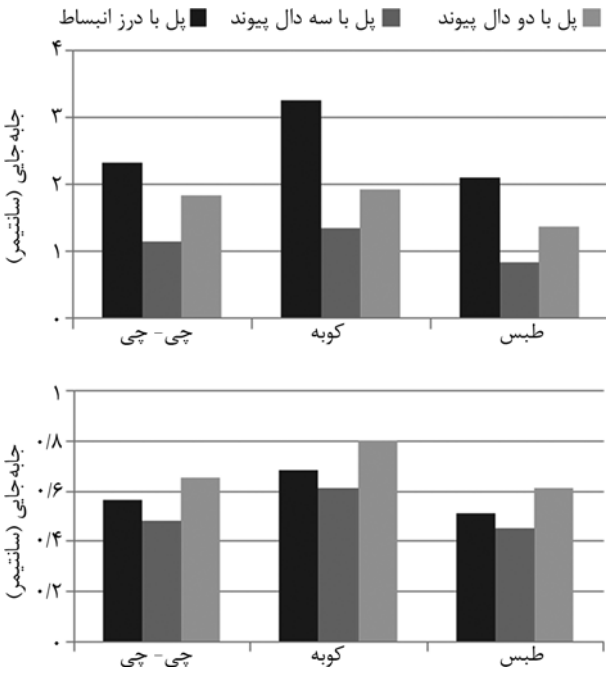


شکل (۱۱): *تاریخچه زمانی تغییرمکان طولی تحت اثر شتابنگاشت طبس.*



شکل (۱۲): *تاریخچه زمانی تغییرمکان عرضی تحت اثر شتابنگاشت طبس.*

جابه‌جایی به جز در تاریخچه زمانی تغییرمکان در راستای عرضی پلهای چهار دهانه در پایه میانی می‌باشد. همچنین در مقادیر ماکزیمم تغییرمکان هم شاهد این کاهش به جز در حالت ذکر شده خواهیم بود. مقادیر ماکزیمم تغییرمکان حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی در شکل (۱۳) به عنوان نمونه در پلهای چهاردهانه ارائه شده است.



شکل (۱۳): *بیشینه جابه‌جایی قاب میانی پل چهار دهانه در تحلیل تاریخچه زمانی.*

۷- جمع‌بندی و نتایج

پلهای متعددی در زمین‌لرزه‌های گذشته به دلیل سقوط عرشه از تکیه‌گاه، نشیمنگاه و یا درزهای انبساط تخریب شده‌اند. از اینرو اکثر تلاشهای بهسازی تا به امروز در جهت متصل ساختن پلها در نواحی درزهای انبساط آنها صورت گرفته است. به عنوان راه حلی مناسب، کنترل تغییرمکان تیرها با استفاده از دال پیوند از آن جهت که باعث حذف درزهای انبساط می‌شود و از نظر هزینه‌ای هم یکی از روشهای بهینه محسوب می‌شود، روشی بسیار مناسب است. جهت بررسی رفتار لرزه‌ای این نوع پلها، از مدلسازی سه بعدی در نرم‌افزار *Sap2000* استفاده شده است. جهت بررسی چگونگی اثرگذاری تعداد دهانه ها، تغییر طول دهانه ها، نحوه آرایش دال پیوند در پلها، پلهای دو دهانه، سه دهانه با دهانه‌های برابر، سه دهانه با دهانه‌های نابرابر و چهار دهانه، به دو صورت دهانه ساده با درز انبساط و با سیستم دال پیوند مدلسازی شدند و برای تحلیل این سازه‌ها از دو روش تحلیل دینامیکی طیفی و تاریخچه زمانی استفاده شده است.

در ذیل مهمترین نتایج بدست آمده از این تحقیق ارائه شده است:

- جایگزینی درز انبساط توسط دال پیوند باعث کاهش قابل توجه پریودهای ارتعاش می‌گردد، که البته این کاهش در مودهای دوم به بعد بسیار چشمگیر است.
- جایگزینی درزهای انبساط روی پایه‌ها توسط دال پیوند تحت اثر طیف طولی باعث افزایش نیروی برشی پایه‌ها و کاهش نیروی برشی در کوله‌ها می‌شود.
- تحت اثر طیف عرضی، جایگزینی درز انبساط با دال پیوند باعث کاهش قابل‌ملاحظه نیروی برشی در پایه‌ها و افزایش چشمگیر نیروی برشی در کوله‌ها می‌گردد. شدت این تغییرات در توزیع نیروها در راستای عرضی بسیار بیشتر از تغییرات در راستای طولی می‌باشد.
- جایگزینی درز انبساط توسط دال پیوند باعث کاهش لنگر خمشی ستونها تحت اثر زلزله می‌گردد.
- در پلهای با سیستم دال پیوند تحت اثر طیف طولی، نیروهای محوری ناچیزی در ستونها ایجاد می‌شود. تحت اثر طیف عرضی جایگزینی درز انبساط توسط سیستم دال پیوند باعث کاهش چشمگیر نیروی محوری در ستونهای کناری پایه پل می‌گردد.
- جایگزینی درز انبساط با دال پیوند باعث کاهش جابه‌جایی تحت اثر اعمال نیروی زلزله در پایه‌های میانی پل می‌شود.

۸- مراجع

1. Gastal, F. and Zia, P. (1989). Analysis of bridge beams with joint-less decks, *Proceedings of IASBE Symposium*, Lisbon, Portugal, 555-560.

2. Zuk, W. (1981). Joint-less bridges, Research report no. FHWA/VA-81/48, Virginia Highway and Transportation Research Council, Charlottes-ville, VA, 44p.

3. Richardson, D.R. (1989). Simplified design procedures for the removal of expansion joints from bridges using partial debonded continuous decks, MSCE Thesis, North Carolina State University, Raleigh, NC.

4. Caner, A. and Zia, P. (1998). Behavior and design of link slabs for jointless bridge decks, *PCI Journal*, **43**(3), 68–80.

5. Okeil, A.M. and El-Safty, A. (2005). Partial continuity in bridge girders with jointless decks, *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, **10**(4), 229-238.

6. Caner, A., Dogan, E., and Zia, P.E. (2002). Seismic performance of multisimple-span bridges retrofitted with link slabs, *Journal of Bridge Engineering*, **7**(2), 85-93.

7. Vasseghi, A., Nateghi, F., and Pournadaf Haghi, M. (2006). Seismic behavior of jointless link slab bridges, *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Geneva, Switzerland.