

بررسی پل‌های جداسازی شده با استفاده از جداگرهای الاستومری در نزدیکی گسل

رسول باقری*، مربی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمی
مجید برقیان، دانشیار دانشگاه تبریز

* bagheri_modg@yahoo.com

چکیده:

زمین لرزه‌های نزدیک گسل دارای محتوای فرکانسی بالا و پهنای باند باریک می‌باشند. این خصوصیات باعث می‌شوند انرژی فوق العاده زیادی که ناشی از شتاب‌های تولیدی در ابتدای زمین لرزه است به سیستم وارد شود. در این تحقیق اثرات نیروهای ناشی از این نوع زمین لرزه‌ها بر روی پل مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور یک پل بزرگراهی سه دهانه به طول ۶۰ متر که برای آن سه نوع جداگر لاستیکی سربی مطابق با ضوابط آئین‌نامه آشتو طراحی گردیده و با استفاده از نرم افزار SAP2000 نسخه ۱۰/۱ طراحی شده است، در دو حالت جداسازی شده و جداسازی نشده مدل سازی گردیده و تحت اثر سه شتاب نگاشت نزدیک گسل در جهات طولی، عرضی و در دو جهت ترکیبی (YZ , XZ) تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی شده‌اند. بررسی رفتار و منحنی‌های بار جابه‌جایی جداگرهای لاستیکی سربی حاکی از آن است که کرنش اولیه و نیروی تسلیم این نوع جداگرها باعث کاهش چشمگیر برش پایه و لنگر خمشی در پل مورد مطالعه شده است. همچنین در نظر گرفتن همزمان مولفه قائم وافقی زلزله در جهات X و Y بر روی خروجی‌های تحلیل از دیگر نتایج این تحقیق می‌باشد که باعث افزایش نیروی فشاری یا کششی در ستون می‌شود که به عنوان یک نتیجه اثر گذار در این تحقیق استخراج گردیده است این نتایج همچنین نشان‌دهنده نقطه‌ضعف آئین‌نامه‌های معتبر دنیا نظیر IBC و NEHRP در پل‌های جداسازی شده می‌باشد که در آن‌ها اثر قائم زلزله نادیده گرفته شده و لازم است همانند سازه‌های غیر جداسازی شده لحاظ گردد.

کلید واژگان: زلزله نزدیک گسل، جداسازی لرزه ای، پل، جداگر لاستیکی سربی

۱- مقدمه

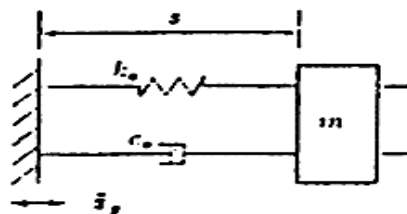
با توجه به این که پل‌ها از جمله سازه‌های بسیار مهم در هنگام امداد رسانی در زمان وقوع زلزله می‌باشند و اکثر شهرهای مهم ایران در نزدیک گسل واقع شده‌اند، استفاده از روش‌های جدید برای حفاظت از پل‌ها بسیار ضروری است. یکی از این روش‌ها جداسازی لرزه‌ای است که در ادامه خلاصه‌ای از تحقیقات انجام گرفته ارائه می‌گردد.

ترکینتون^۱ و همکاران (۱۹۸۹) در کارهای خود پاسخ پل‌های دو و چهار دهانه در برابر زلزله‌های حقیقی را با استفاده از سه مدل بررسی کرده‌اند. اولین مدل، شامل یک جرم متصل به جداگر که از طرف دیگر کاملاً صلب نگه داشته شده است، می‌باشد. خصوصیات برشی جداگر با یک فنر دو خطی مدل می‌شود. مدل دوم ترکیبی از بالشتک‌های الاستومری و لاستیکی-سربی بوده و ارتفاع پایه‌های پل متفاوت می‌باشد. پایه‌ها با اعضای تیرالاستیک مدل می‌شوند. از ترکیب مدل پایه و بالشتک، مدل سوم بدست می‌آید. نشان داده شده است که بالشتک‌های لاستیکی-سربی در ترکیب با بالشتک‌های الاستومری می‌توانند نیروهای زلزله را بین کوله‌ها و پایه‌ها توزیع کنند[۱].

تنگانکار و جانگید (۲۰۰۰) تاثیر بالشتک‌های الاستومری در جداسازی لرزه‌ای پل‌ها را بررسی کرده‌اند و نشان داده‌اند که بالشتک‌های الاستومری در کاهش پاسخ لرزه‌ای پل‌ها بسیار مؤثرند. به علاوه کارایی بالشتک‌های الاستومری عمدتاً تحت تاثیر خصوصیات سختی و میرایی می‌باشد[۲].

فرانچین و همکاران (۲۰۰۱) سه جنبه مربوط به روش‌های خطی یا خطی معادل را بررسی کرده‌اند. اولاً، بر اساس تحلیل مودی کلاسیک، یک روش منطقی و تقریبی برای تعیین میرایی معادل وجود دارد که به تمام سازه‌های با میرایی غیر ویسکوز قابل اعمال است، ثانياً، مطالعه پارامتریک صورت گرفته نشان می‌دهد که هیچ یک از روابط خطی معادل مورد استفاده، نتایج قابل قبولی در مورد پاسخ‌های جابجایی و نیرو نمی‌دهند. بنابراین نیاز به یک طرح مطمئن در مورد پل‌های جداسازی شده احساس می‌شود[۳].

۲- مدل ریاضی سیستم‌های جداساز لرزه‌ای سیستم‌های (Laminated Rubber Bearing) LRB



شکل ۱- مدل ریاضی تکیه‌گاه لاستیکی لایه‌ای (LRB)

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{u}_g \quad (1)$$

$$\ddot{x} + 2\xi\omega\dot{x} + \omega^2x = -\ddot{u}_g \quad (2)$$

که در آن

$$\xi = \frac{c}{2m\omega} \quad \omega = \sqrt{k/m}$$

در روابط فوق m جرم، k سختی، c میرایی، ω تواتر دورانی طبیعی و ξ درصد میرایی می‌باشد. شکل (۱) مدل ریاضی تکیه‌گاه لاستیکی لایه‌ای را نشان می‌دهد.

۳- طراحی جداگرهای مورد استفاده

در این بخش، مشخصات راهنمای طراحی جداسازی لرزه‌ای^۱ پل‌های بزرگراهها[۴]، از انتشارات ۲۰۰۱ آشتو که اصلاح و ویرایش ۱۹۹۱ آن می‌باشد، معرفی می‌گردد. این راهنما مکمل مشخصات استاندارد آشتو برای پل‌های بزرگراه‌ها، ویرایش شانزدهم، بخش A-I؛ طراحی لرزه‌ای^۲ می‌باشد. برای شرح بیشتر مطالب و فرمول‌های آیین‌نامه‌ای در مواردی از مراجع دیگر نیز استفاده شده است. جهت کسب اطلاعات بیشتر می‌توان به منابع [۵] و [۶] مراجعه نمود. سه جداگر لاستیکی-سربی با مشخصات زیر طراحی شده است.

مرحله اول طراحی جداگر لاستیکی-سربی، شامل تعیین مشخصات مصالح جداگر از جمله مدول برشی الاستیک (G)، ثابت مصالح لاستیک (\bar{K})، مدول بالک (حجمی) لاستیک (K)، تنش تسلیم سرب (σ_s) می‌باشد. این متغیرها برای تمام جداگرهای مورد مطالعه ثابت فرض شده‌اند و در جدول (۱) مشخص شده‌اند.

در طراحی جداگرها فرض شده است که پل‌ها در مناطق با خطر نسبی زلزله بسیار زیاد بوده و خاک محل پل نیز از جنس خاک نسبتاً سخت می‌باشد.

نتایج طراحی جداگرهای لاستیکی-سربی برای پل‌های مورد مطالعه در جداول (۲) تا (۵) مشخص شده‌اند. در این جدول‌ها، ابعاد جداگر شامل طول (B_1)، عرض (B_2)، ضخامت هر لایه لاستیک (t_i)، تعداد لایه‌های لاستیک ($n_{(rubber)}$)، قطر هسته سربی ($D_{(Lead)}$)، تعداد هسته‌های سربی ($n_{(Lead)}$)، ضخامت هر لایه فولاد (t_s) و ضریب شکل جداگر (S) می‌باشد. در هر پل با توجه به تعداد شاه‌تیرها، تعداد جداگرها تعیین شده است به گونه‌ای که در محل کوله‌ها زیر هر شاه‌تیر یک جداگر قرار گرفته و در محل پایه‌های میانی با توجه به این که دهانه‌های پل ساده می‌باشند، انتهای هر شاه‌تیر روی یک

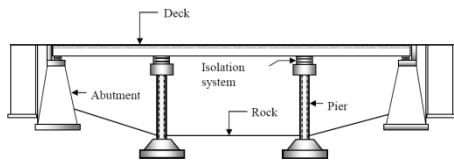
1. Guide Specifications for Seismic Isolation Design, Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2001
2. AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges, 16th Edition, Division I-A: Seismic Design

1. Turkington

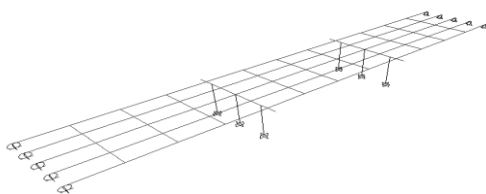
۴- مشخصات پل مورد مطالعه

مشخصات این پل در جدول (۶) ارائه شده است. مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن مصرفی در پل بر روی نمونه استوانه‌ای برابر $f'_c = 300 \text{ kgf/cm}^2$ و آرماتورهای مصرفی از نوع AIII با تنش تسلیم $f_y = 4000 \text{ kgf/cm}^2$ در نظر گرفته شده است. جدول ۶- مشخصات پل بررسی شده

نوع پل	دهانه ساده
تعداد دهانه ها	۳ دهانه
طول دهانه ها	۲۰ متر
عرض پل	۱۱/۸ متر
نوع عرشه	تیر- دال
ضخامت دال	۲۰ cm
نوع شاهیترها	تیرورق فولادی
تعداد شاهیترها	۵ عدد
فواصل شاهیترها	۲/۴۰ متر
ابعاد جان شاهیترها	۲۰۰ * ۱۲ mm
ابعاد بال شاهیترها	۷۵۰ * ۳۰ mm
نوع پایه های میانی	چند ستونی
تعداد ستونهای هر پایه	۳ عدد
ارتفاع پایه ها	۵/۱۰ متر
ابعاد مقطع هر ستون	دایره به قطر ۱/۴۰ متر
آرماتورهای طولی هر ستون	۲۰ Φ ۳۲
ارتفاع تیر سرستون	۱/۲۰ متر
عرض تیر سرستون	۲ متر
دیافراگم عرضی	به فواصل ۵ متری



شکل ۲- مدل دو بعدی پل



شکل ۳- مدل سه بعدی پل

جداگر قرار گرفته است. بنابراین تعداد جداگرهای بکار رفته در پل ۳۰ می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات مصالح جداگر [۶]

تنش تسلیم سرب	مدول بالک لاستیک	ثابت مصالح لاستیک	مدول برشی لاستیک
(kg/cm^2)	(kg/cm^2)		
۱۰۵	۲۰۰۰۰	۰/۵۷	۱۰/۶

جدول ۲- ابعاد جداگرهای پل

نوع جداگر	a	b	c
$B_1 (\text{cm})$	۳۰	۳۵	۳۵
$B_2 (\text{cm})$	۳۰	۳۵	۳۵
$t_s (\text{cm})$	۱/۵۰	۱/۵۰	۱/۵۰
$n_{(\text{rubber})}$	۱۰	۱۰	۱۰
$D_{(\text{Lead})} (\text{cm})$	۱۰	۱۲	۲۰
$n_{(\text{Lead})}$	۱	۱	۱
$t_s (\text{cm})$	۰/۲	۰/۲	۰/۲
S	۴/۹۶	۵/۷۹	۵/۷۶

جدول ۳- پارامترهای بار-جابجایی جداگرهای پل

نوع جداگر	k_U (kg/cm)	k_d/k_U	$F_y(\text{kg})$	k_{eff} (kg/cm)	k_{ver} (kg/cm)
a	۳۸۴۳	۰/۱	۸۷۲	۴۵۰	۴۶۷۹۸
b	۶۴۱۳	۰/۱	۱۰۴۷	۷۴۵	۱۰۵۵۳۲
c	۷۰۴۶	۰/۱	۱۷۴۵	۹۴۶	۱۱۴۷۹۴

جدول ۴- پارامترهای طراحی پل با سه نوع جداگر

نوع جداگر	(kg/cm) K_{eff}	$T_{eff} (\text{sec})$	% β	B
a	۱۳۴۷۲	۱/۱۸	۷/۹	۱/۱۳
b	۲۲۲۴۱	۰/۹۱	۶/۵	۱/۰۷
c	۲۸۱۹۵	۰/۸۱	۹/۴	۱/۱۸

جدول ۵- مؤلفه‌های کرنش برشی جداگرهای پل

نوع جداگر	γ_c	$\gamma_{s,eq}$	γ_r	$\gamma_c + \gamma_{s,eq} + 0.5\gamma_r$
a	۰/۶۹	۰/۷۹	۰/۲۰	۱/۵۸
b	۰/۳۶	۰/۶۰	۰/۲۷	۱/۱۰
c	۰/۳۳	۰/۴۳	۰/۲۷	۰/۹۰

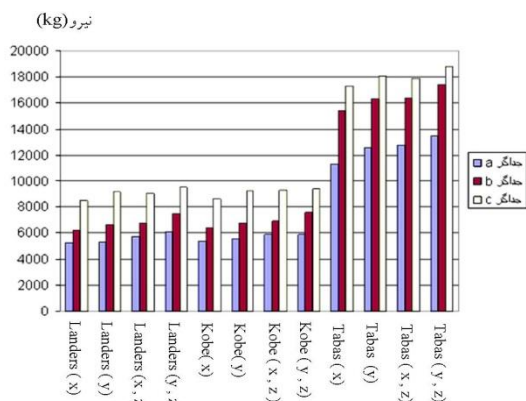
در پل‌های جداسازی نشده (معمولی) و هم در پل‌های جداسازی شده برای در نظر گرفتن رفتار غیر الاستیک ستون‌های پایه‌های میانی، مفصل پلاستیک به این اعضا اختصاص داده شده است.

۷- نتایج حاصل از تحلیل پل‌ها

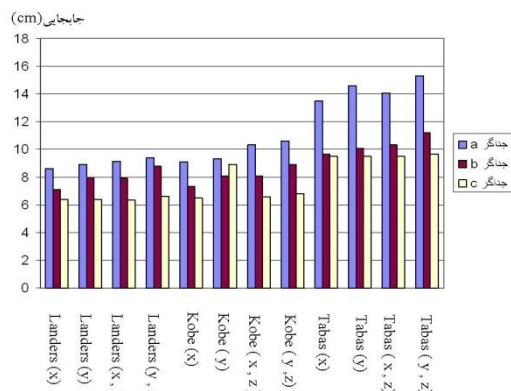
نتایج حاصل از تحلیل پل‌ها در حالت‌های مختلف در نمودارهای اشکال (۴) تا (۳۳) آورده شده‌اند. نمودارها و اشکال طوری تنظیم شده‌اند که بتوان با استفاده از آنها اولاً مقایسه‌ای بین پل جداسازی نشده و پل‌های جداسازی شده انجام داد و ثانیاً تأثیر جداگرهای مختلف بر روی پاسخ لرزه‌ای پل‌ها را بررسی کرد.

پاسخ‌های مورد مطالعه در این پژوهش عبارتند از:

- (۱) زمان تناوب
- (۲) برش پایه طولی و عرضی
- (۳) نیروی برشی و لنگر خمشی وارد بر ستون‌های پل
- (۴) حداکثر جابجایی جانبی تیر سرستون
- (۵) حداکثر جابجایی جداگرها
- (۶) حداکثر نیروی وارد بر جداگرها
- (۷) نیروی محوری ستون‌ها



شکل ۴- نیروی برشی جداگرهای پل



شکل ۵- حداکثر جابجایی جداگرهای پل

۵- مشخصات شتاب‌نگاشت‌های ورودی

در این پژوهش به منظور انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی بر روی پل‌های مورد مطالعه از شتاب‌نگاشت‌های نزدیک گسل که فاصله محل رکورد از گسل کمتر از ۱۵ کیلومتر می‌باشد استفاده شده است:

۱- زلزله ۱۹۹۵ کوبه، به بزرگی ۶/۹ ریشتر، مولفه طولی و قائم با حداکثر شتاب افقی $0/۶۹۳g$ و شتاب قائم $0/۴۳۳g$ و زمان تداوم $۴۰/۹۶۳$ ثانیه

۲- زلزله ۱۹۷۸ طیس، به بزرگی ۷/۴ ریشتر، مولفه طولی و قائم با حداکثر شتاب افقی $0/۸۳۶g$ و شتاب قائم $0/۶۸۸g$ و زمان تداوم $۳۲/۸۴$ ثانیه

۳- زلزله ۱۹۷۸ لندرس، به بزرگی ۷/۳ ریشتر، مولفه طولی و قائم با حداکثر شتاب افقی $0/۷۸۵g$ و شتاب قائم $0/۸۱۸g$ و زمان تداوم $۴۸/۱۲۵$ ثانیه

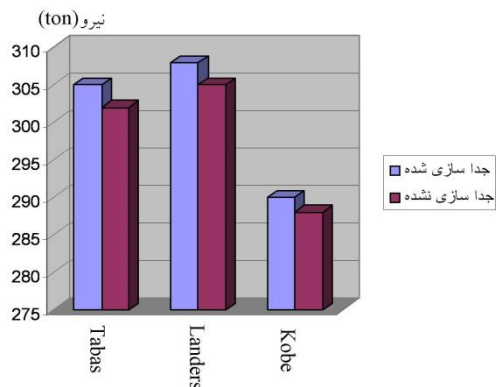
۶- مدل‌سازی و تحلیل تاریخچه زمانی پل

روش کار چنین است که برای پل، سه جداگر لاستیکی-سربی با خصوصیات مختلف، به نام‌های a، b و c طراحی شده‌اند. لازم به یادآوری است که هر سه جداگر طراحی شده دارای رابطه بار-جابجایی غیرخطی می‌باشند. سپس پل با اعمال این جداگرها تحت تأثیر سه شتاب‌نگاشت مختلف زلزله، تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی شده است. در این تحلیل‌ها، تأثیر پارامترهای مختلف جداگرها مانند سختی برشی حالت الاستیک و نیروی تسلیم آن‌ها در رفتار و پاسخ لرزه‌ای پل‌ها بررسی شده است. هر پل در حالت معمولی (جداسازی نشده) نیز تحلیل شده است تا ضمن مقایسه نتایج حاصل از دو حالت، بتوان کارایی و مزیت کاربرد جداسازی لرزه‌ای را نشان داد.

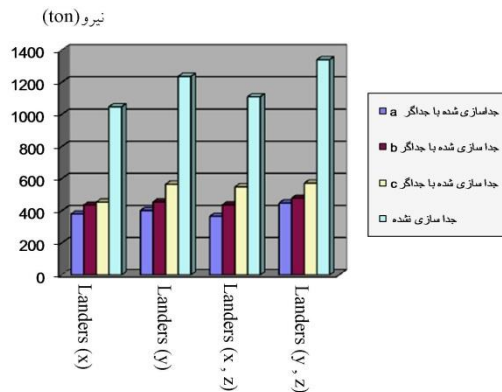
برای مدل‌سازی پل مطابق اشکال (۲) و (۳) و تحلیل تاریخچه زمانی، از نرم‌افزار SAP2000 نسخه ۱۰/۱ استفاده می‌شود. در تحلیل تاریخچه زمانی، فقط روش انتگرال‌گیری مستقیم می‌تواند رفتار غیرخطی اعضای تیر و ستون را در نظر بگیرد در حالی که روش مودال، اعضای تیر و ستون را همیشه در مرحله الاستیک در نظر می‌گیرد.

در این پژوهش چون از قبل معلوم نیست که ستون‌های پایه‌های میانی در پل‌های جداسازی شده وارد مرحله غیرخطی می‌شوند، بنابراین از روش انتگرال‌گیری مستقیم برای تحلیل تاریخچه زمانی استفاده می‌شود.

برای بررسی رفتار غیرخطی ستون‌های پایه‌های میانی، باید مفصل پلاستیک به این اعضا اختصاص داده شود. در این پژوهش از مفصل پلاستیک PMM که پیش فرض خود برنامه می‌باشد، استفاده شده است. لازم به ذکر است که خصوصیات مفصل پلاستیک پیش فرض برنامه SAP2000 برای مقاطع بتنی، بر اساس ATC-40 می‌باشد.



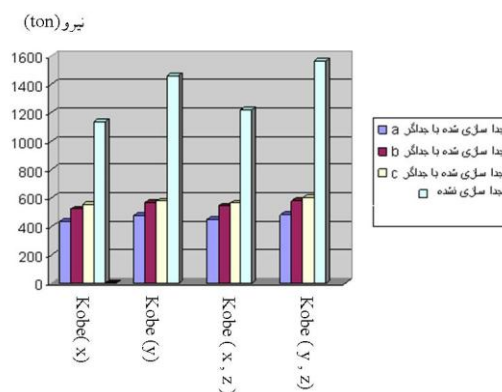
شکل ۹- حداکثر نیروی فشاری ستون



شکل ۶- حداکثر برش پایه پل تحت اثر زلزله Landers

جدول ۷- دوره تناوب مؤثر

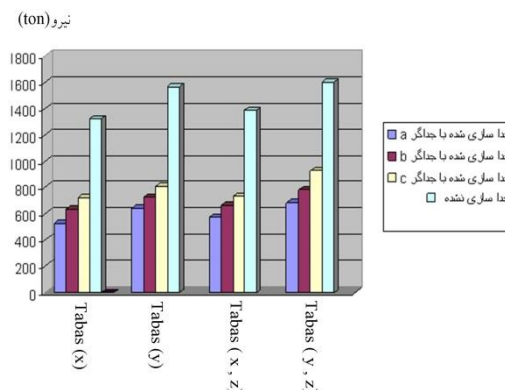
جدا سازی شده با جداگر لاستیکی- سربی			جدا سازی نشده	دوره تناوب مؤثر
c	b	a		
۰/۸۲	۰/۸۹	۱/۱۴	۰/۲۲	



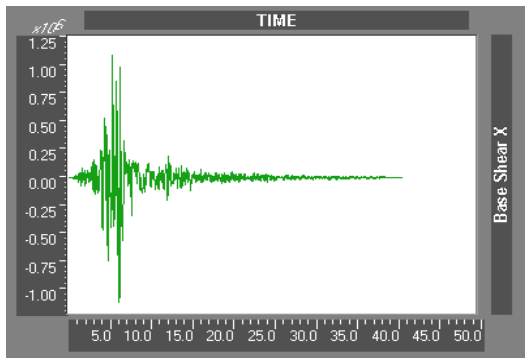
جدول ۸- حداکثر جابه‌جایی جانبی سر ستون‌های پایه میانی

حالت‌های مختلف پل				حداکثر جابه‌جایی جانبی سر ستون‌های پایه میانی (cm)
c	b	a	جدا سازی نشده	
۱/۴۵	۱/۴	۱/۳	۲/۹	لندرس
۱/۴۴	۱/۴۲	۱/۳۱	۳/۱	کوبه
۱/۴۹	۱/۴۵	۱/۳۳	۳/۵	طیس

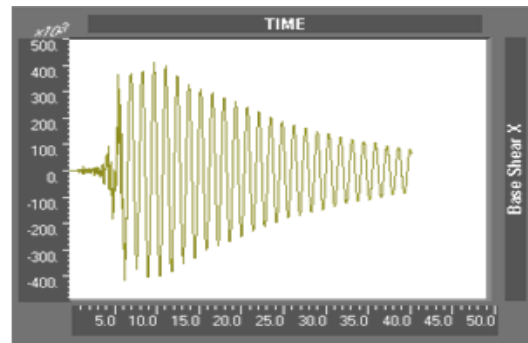
شکل ۷- حداکثر برش پایه پل تحت اثر زلزله Kobe



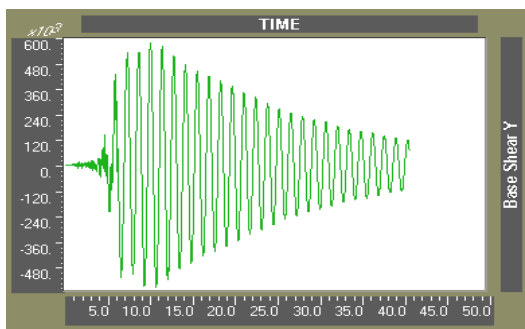
شکل ۸- حداکثر برش پایه پل تحت اثر زلزله Tabas



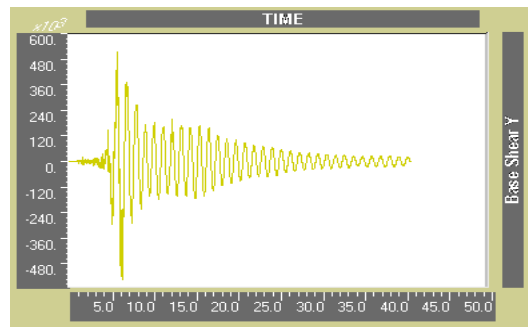
شکل ۱۳- تاریخچه زمانی برش پایه طولی پل تحت زلزله kobe جداسازی نشده



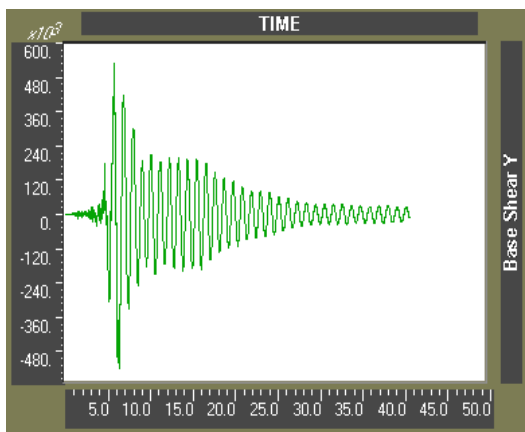
شکل ۱۰- تاریخچه زمانی برش پایه طولی پل تحت زلزله kobe جداگر a



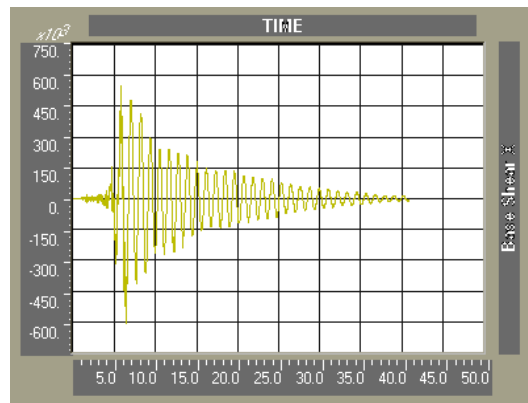
شکل ۱۴- تاریخچه زمانی برش پایه عرضی پل تحت زلزله kobe جداگر a



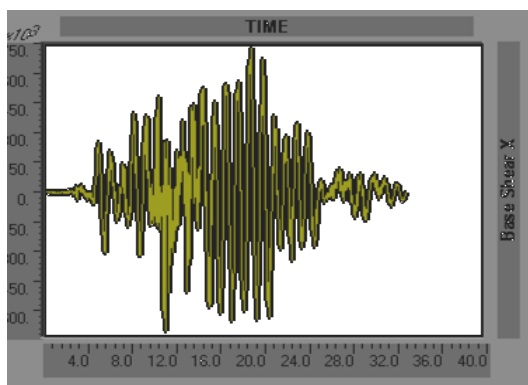
شکل ۱۱- تاریخچه زمانی برش پایه طولی پل تحت زلزله kobe جداگر b



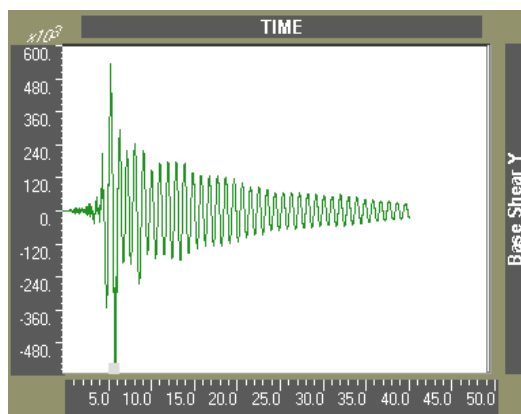
شکل ۱۵- تاریخچه زمانی برش پایه عرضی پل تحت زلزله kobe جداگر b



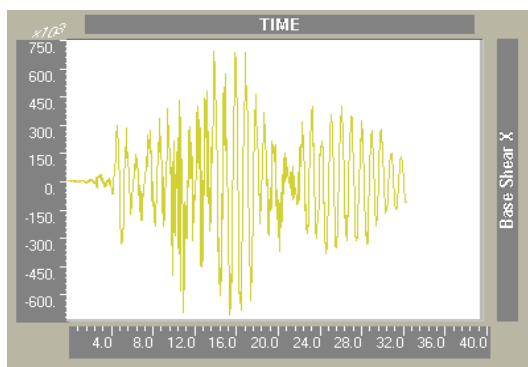
شکل ۱۲- تاریخچه زمانی برش پایه طولی پل تحت زلزله kobe جداگر c



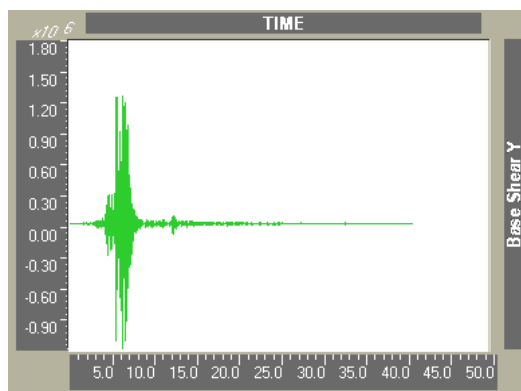
شکل ۱۹- تاریخچه زمانی برش پایه طولی پل تحت زلزله tabas جداگر b



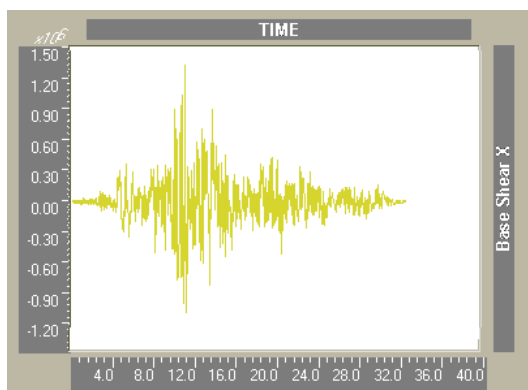
شکل ۱۶- تاریخچه زمانی برش پایه عرضی پل تحت زلزله kobe جداگر c



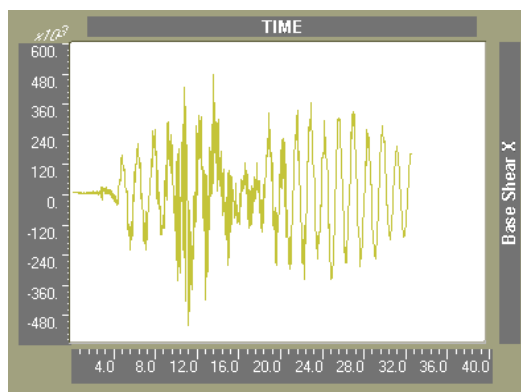
شکل ۲۰- تاریخچه زمانی برش پایه طولی پل تحت زلزله tabas جداگر c



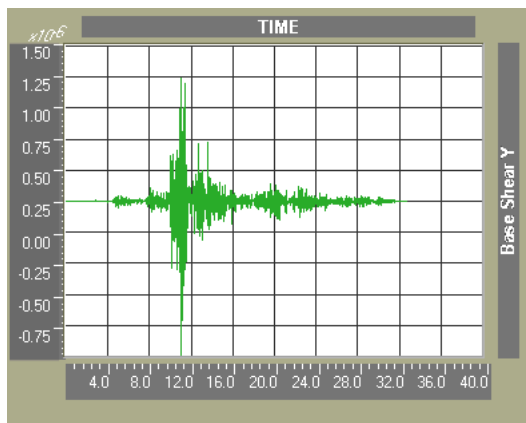
شکل ۱۷- تاریخچه زمانی برش پایه عرضی پل تحت زلزله kobe جداسازی نشده



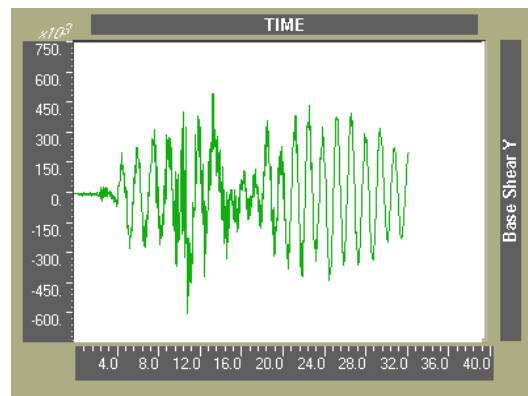
شکل ۲۱- تاریخچه زمانی برش پایه طولی پل تحت زلزله tabas جداسازی نشده



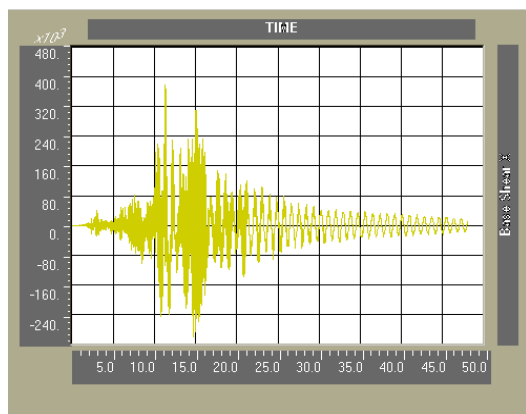
شکل ۱۸- تاریخچه زمانی برش پایه طولی پل تحت زلزله tabas جداگر a



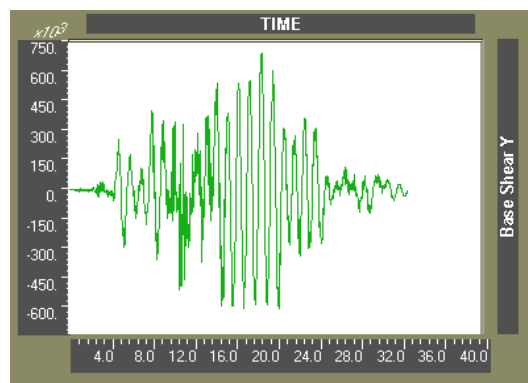
شکل ۲۵- تاریخچه زمانی برش پایه عرضی پل تحت زلزله tabas جداسازی نشده



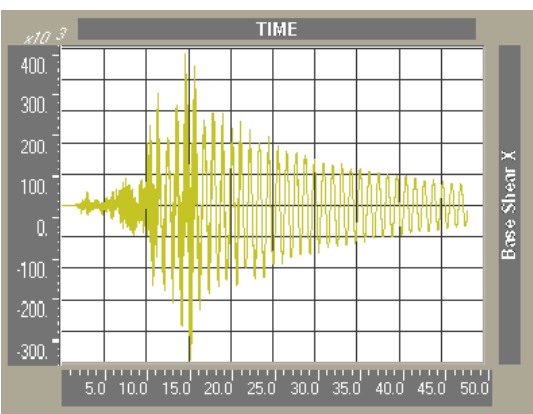
شکل ۲۲- تاریخچه زمانی برش پایه عرضی پل تحت زلزله tabas جداگر a



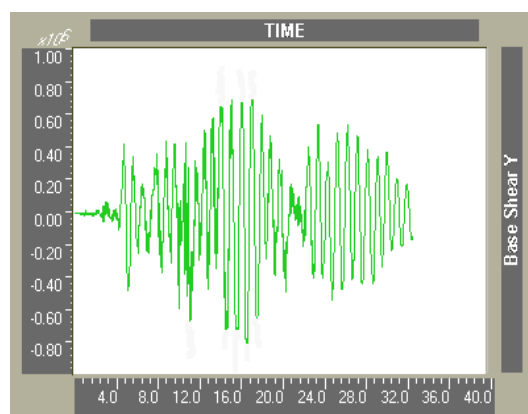
شکل ۲۶- تاریخچه زمانی برش پایه طولی پل تحت زلزله landers جداگر a



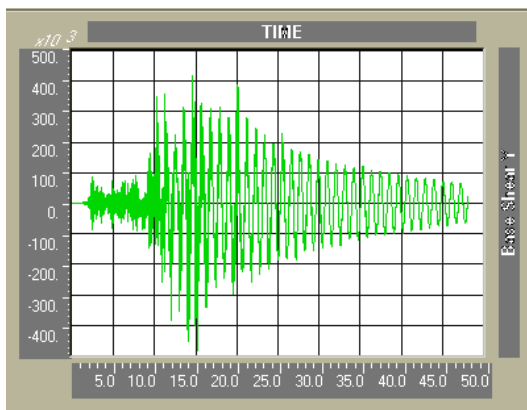
شکل ۲۳- تاریخچه زمانی برش پایه عرضی پل تحت زلزله tabas جداگر b



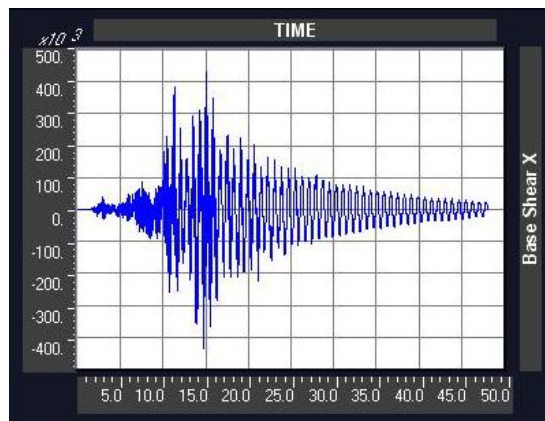
شکل ۲۷ - تاریخچه زمانی برش پایه طولی پل تحت زلزله landers جداگر b



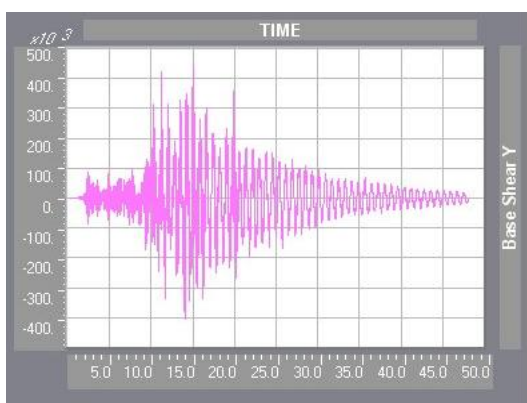
شکل ۲۴- تاریخچه زمانی برش پایه عرضی پل تحت زلزله tabas جداگر c



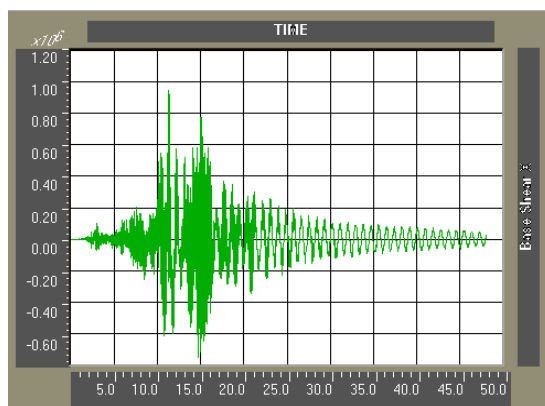
شکل ۳۱- تاریخچه زمانی برش پایه عرضی پل تحت زلزله landers جداگر b



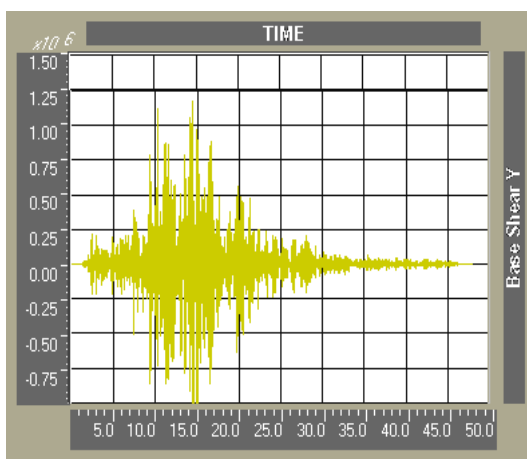
شکل ۳۲- تاریخچه زمانی برش پایه طولی پل تحت زلزله landers جداگر c



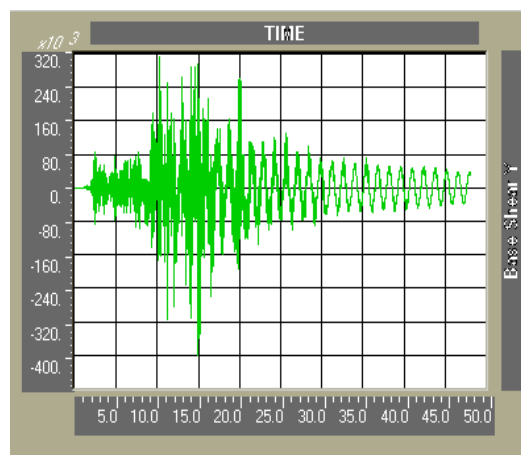
شکل ۳۳- تاریخچه زمانی برش پایه عرضی پل تحت زلزله landers جداگر c



شکل ۳۹- تاریخچه زمانی برش پایه طولی پل تحت زلزله landers جداسازی نشده



شکل ۳۳- تاریخچه زمانی برش پایه عرضی پل تحت زلزله landers جداسازی نشده



شکل ۳۰- تاریخچه زمانی برش پایه عرضی پل تحت زلزله landers جداگر a

ملاحظه می‌شود که با بکار بردن جداگرهای a ، b و c به ترتیب زمان تناوب پل جداسازی شده کاهش می‌یابد. با افزایش سختی اولیه جداگر، سختی یک واحد پایه جداگر افزایش می‌یابد و به تبع آن سختی کل سازه افزایش یافته و در نتیجه دوره تناوب کاهش می‌یابد. بنابر این سختی اولیه جداگرهای لاستیکی-سربی نقش مهمی در زمان تناوب پل جداسازی شده دارد.

۸-۴ - مقایسه برش پایه

برش پایه در زمین لرزه‌های نزدیک گسل حالت جداسازی شده نسبت به حالت معمولی کاهش چشمگیری داشته است. البته این مقدار کاهش به میزان افزایش دوره تناوب در حالت جداسازی شده و نوع پل و زلزله اعمال شده نیز بستگی دارد.

در زمین لرزه‌های نزدیک گسل حالت جداسازی نشده (معمولی) برای تمام شتاب نگاشت ها، برش پایه عرضی تقریباً ۲ برابر برش پایه طولی می باشد. در حالی که جدا سازی لرزه‌ای، برش پایه در دو جهت طولی و عرضی را متعادل می‌کند.

با مقایسه نتایج زمین لرزه‌های نزدیک گسل سه نوع جداگر بکار رفته در پل مشاهده می‌شود که با افزایش سختی اولیه و نیروی تسلیم جداگر، برش پایه افزایش می‌یابد. همانطور که مشاهده می‌شود در بعضی از حالات برش پایه پل جداسازی نشده، ۳ برابر برش پایه پل جداسازی شده می‌باشد. برش پایه پل جداسازی نشده، در مواردی ۴ برابر برش پایه پل جداسازی شده می‌باشد.

با مقایسه نتایج زمین لرزه‌های نزدیک گسل بدست آمده برای جداگرهای a ، b و c مشاهده می‌شود که در پل جداسازی شده با جداگرهای لاستیکی-سربی نیروی برشی پایه تا ۷۰ درصد کاهش می‌یابد، این موضوع بدان علت است که جداگرهای لاستیکی-سربی، به علت رفتار غیرخطی، انرژی ورودی بیشتری را مستهلک می‌کنند. به عبارت دیگر این جداگرها بدلیل میرایی هیستریسیس، برش پایه ناشی از زلزله را بیشتر کاهش می‌دهند.

۸-۵ - مقایسه لنگر خمشی و تشکیل مفاصل پلاستیک در

ستون‌ها

براساس تحلیل‌های انجام گرفته، پل‌ها در اثر اعمال زمین لرزه‌های نزدیک گسل دچار رفتار غیرخطی در ستون‌های خود شده‌اند که در نتیجه مفاصل پلاستیک در ستون‌ها تشکیل شده است. ولی با قرار دادن جداگرهای لاستیکی-سربی در پل‌ها، نیروهای محوری و لنگرهای خمشی تا اندازه‌ای کاهش یافته‌اند که زیر سازه پل‌ها به صورت الاستیک باقی می‌ماند و هیچ نوع مفصل پلاستیک در ستون‌های پل تشکیل نمی‌شود.

در زمین لرزه‌های نزدیک گسل حالت جداسازی نشده، تحت زلزله کوبه طولی و لندرس طولی، سازه پل به ترتیب در ۱۲ تانیه و

۸-۱ - بحث درباره نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی پل‌ها

۱-۸ مقایسه جداگرهای طراحی شده

با مقایسه جداگرهای طراحی شده برای پل مورد نظر، نتایج زیر را می‌توان بیان کرد:

- هرچه سختی اولیه و نیروی تسلیم جداگر افزایش یابد، سختی مؤثر کل سازه افزایش می‌یابد و دوره تناوب مؤثر پل کاهش می‌یابد.

- هرچه سختی اولیه و نیروی تسلیم جداگر افزایش یابد، جابجائی طرح هم کاهش می‌یابد.

- هرچه تعداد جداگرها در پل بیشتر باشد، نیروها و بارهای وارد بر هر واحد جداگر کاهش می‌یابد، پس ابعاد هندسی آن کاهش می‌یابد، اما نکته قابل توجه آن است که با افزایش تعداد جداگر در پل، سختی مؤثر کل نیز افزایش می‌یابد که خود باعث کاهش دوره تناوب مؤثر پل جداسازی شده می‌شود، بنابراین باید تا آنجا که امکان دارد (از لحاظ محدودیت‌های اعمال شده از طرف ساختار پل و همچنین هزینه هر واحد جداگر) یک حالت بهینه برای تعداد جداگرهای مورد استفاده در پل‌ها به دست آید.

- بر اساس طراحی‌های صورت گرفته که در حد ابعاد متداول جداگرها می‌باشد، کرنش‌های برشی به دست آمده حدود یک چهارم مقدار مجاز حداکثر آیین‌نامه آشتو شده است که نشان می‌دهد طراحی انجام شده، با در نظر گرفتن کرنش‌های برشی، حالت محافظه کارانه داشته است.

۸-۲ - مقایسه حداکثر نیروی برشی و جابجایی جداگرها

با مقایسه نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که بیشترین جابجایی در زمین لرزه‌های نزدیک گسل مربوط به جداگر نوع a و کمترین جابجایی مربوط به جداگر نوع c می‌باشد. در ضمن کمترین نیروی برشی به جداگر نوع a و بیشترین نیروی برشی به جداگر نوع c وارد می‌شود. بنابراین در زمین لرزه‌های نزدیک گسل با افزایش سختی اولیه و نیروی تسلیم جداگر، جابجایی حداکثر جداگرها کاهش می‌یابد در حالی که نیروی برشی تولید شده در جداگرها افزایش می‌یابد.

۸-۳ - مقایسه زمان تناوب

در زمین لرزه‌های نزدیک گسل حالت معمولی یا جداسازی نشده پل، مود اصلی ارتعاشی پل، عمدتاً مود حرکت قائم عرشه می‌باشد. جداساز لرزه‌ای، مود ارتعاشی انتقال جانبی پل را به مود اصلی ارتعاش پل تبدیل می‌کند، به همین علت از اثرات زاینبار زلزله وارد بر پل می‌کاهد.

جداگر لرزه‌ای a در زمین لرزه‌های نزدیک گسل زمان تناوب پل جداسازی نشده را مطابق جدول (۷) از ۰/۲۲ ثانیه به ۱/۱۴ ثانیه و جداگر c به ۰/۸۲ ثانیه افزایش می‌دهد.

۳- جداسازی لرزه ای نزدیک گسل علاوه بر کاهش برش پایه وارد بر پل، باعث تعادل برش پایه عرضی و طولی می شود. به عبارتی مقادیر برش پایه طولی و عرضی را به هم نزدیک می کند.

۴- در زمین لرزه های نزدیک گسل جداگرهای لاستیکی- سربی به علت رابطه غیر خطی بار-جابجایی شان، اولاً در کاهش نیروهای لرزه ای بیشتر مؤثرند، ثانیاً جابجایی شان کمتر می باشد.

۵- اختلاف قابل توجهی در محتویات شتاب عرشه پل جداسازی شده از پایه پل وجود دارد که با مدل های خطی معادل و دو خطی جدا سازی قابل تشخیص است.

۶- با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق استفاده از جداگرها در پل های ساخته شده در نزدیکی گسل که باعث کاهش ۷۰ درصدی نیروهای وارده به پل می گردد، توصیه می گردد.

۹- منابع:

- 1- Turkington, D. H., Carr, A. J., Cooke, N., and Moss, P. J., 1989, Seismic design of bridges on Lead-rubber bearings, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 115: 3000-3016.
- 2- Tongaonkar, N. P. and Jangid, R. S. 2000, Earthquake response of seismically isolated bridges, European Earthquake Engineering, Vol. X IV, 48-58.
- 3- Franchin, P., Monti, G. and Pinto, P. E., 2001, On the accuracy of simplified methods for the analysis of isolated bridges, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 30: 363-382.
- 4- Guided specifications for seismic design 2001, American association of state highway and transportation officials (AASHTO).
- ۵- مقدم، حسن، ۱۳۸۱، مهندسی زلزله، انتشارات فرهنگ.
- ۶- واگایاباشی، مینورو، ۱۳۷۴، ساختمان های مقاوم در برابر زلزله ترجمه سعادتپور، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۱/۵۰ ثانیه پس از زمین لرزه، به دلیل تشکیل مفاصل پلاستیک، دچار خرابی (گسیختگی) می شود.

در زمین لرزه های نزدیک گسل پل جداسازی نشده، حداکثر لنگر خمشی حدوداً ۳ تا ۴ برابر حالت جداسازی شده است.

در زمین لرزه های نزدیک گسل پل جداسازی شده، نیروی برشی ستون ها بین ۲ تا ۳ برابر کاهش داشته است. در این حالت نیز با افزایش نیروی تسلیم و سختی اولیه جداگرها، نیروی برشی بیشتری در ستون ها بوجود می آید.

۸-۶- مقایسه بین جابجایی ها

در زمین لرزه های نزدیک گسل پل جداسازی شده، جابجایی جانبی سرستون های پایه های میانی تا ۲ برابر کاهش داشته است (جدول ۸).

با مقایسه جابجایی سرستون پل جداسازی شده و جداسازی نشده، می توان گفت:

با اعمال زمین لرزه های نزدیک گسل جداگرهای لرزه ای، پاسخ های جابجایی کل سازه به خاطر جابجایی های غیرالاستیک جداگرها افزایش می یابد، ولی جابجایی جانبی سرستون ها در پایه های میانی در حالت جداسازی شده کاهش قابل ملاحظه ای دارد. میزان کاهش بسته به نوع شتاب نگاشت، متغیر می باشد.

۸-۷- تأثیر مؤلفه قائم زلزله

با توجه به نمودارها در زمین لرزه های نزدیک گسل، تأثیر زلزله بر نیروی فشاری و کششی ستون های پل مورد مطالعه برابر ۵۰ درصد استخراج گردیده است. این نتایج همچنین نشان دهنده نقطه ضعف آیین نامه های معتبر دنیا نظیر IBC و NEHRP و ... در پل های جداسازی شده می باشد که اثر مؤلفه قائم زلزله نادیده گرفته شده می بایستی همانند سازه های غیر جدا سازی شده لحاظ گردد.

۹- نتیجه گیری

۱- در این تحقیق در زمین لرزه های نزدیک گسل، جداگرهای الاستومری، به نحوی برای پل طرح شده اند که شرایط کرنش های برشی آیین نامه را ارضا نمایند. با توجه به آیین نامه آشتو، در طراحی جداگرها باید کرنش های برشی هر واحد جداگر از حدود مشخصی تجاوز نکند. اما با توجه به طراحی های انجام شده، هیچ گاه این کرنش ها در طراحی تعیین کننده نبوده اند.

۲- سختی اولیه و نیروی تسلیم جداگر، به عنوان دو پارامتر مهم در پاسخ لرزه ای پل های جداسازی شده می باشند. با افزایش سختی اولیه جداگرها، دوره تناوب اصلی سازه که در حالت جداسازی شده همان مود انتقال جانبی می باشد، کاهش می یابد بنابراین برش پایه سازه، افزایش می یابد و به برش پایه حالت جداسازی نشده نزدیک می شود.

A Study of the (Behavior of the) Isolated Bridges Using Elastomeric Isolaters Located Near the Faults

R. Bagheri

Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Germe Branch, Germe, Iran

M. Barghian

Structural Engineering Department Faculty of Civil Engineering University of Tabriz

ABSTRACT

The present paper is a study of the (Behavior of the) elastomeric bearing isolated bridges located near the faults. The earthquakes near the faults have high frequency and narrow bandwidth. Such characteristics cause the strikingly high energy released due to production acceleration happening at the initial stage of the earthquakes to be imposed on the system. The present research undertakes to study the effects of the forces resulted by such type of earthquakes on the bridges. For this purpose, a three span highway bridge being of 60 meters length, for which were applied three types of lead rubber isolators in pursuant to the regulation envisaged in ASHTO standard, was designed. Using SAP2000, a 10.1 version was designed and the same was modeled in base-isolated and non-isolated modes. Considering the effect of three seismic recorders near the fault along longitudinal and latitudinal directions as well as in (YZ and XZ) directions, a nonlinear time history analysis was performed. The study of the behavior and load shift curves of the lead rubber isolators showed that initial strains and yield strength of such isolators cause significant reduction of base shear and bending moment in the bridge under study. Furthermore, simultaneous considering of the vertical and horizontal component of the earthquake in X and Y directions in the analysis showed increase compress or tension forces in column. These results show the shortcomings of the provisions recommended by, as instance, NEHRP and IBC about the isolated bridges in not considering the vertical effect of the earthquake. Such an effect should be taken into consideration as is the case with the non-isolated bridges.

Keywords: Near fault earthquake, Seismic isolation, Bridge lead rubber isolator