

# بررسی اثر طول نشیمنگاهها در طراحی لرزه‌ای پلها

مهدی پورنداف حقی دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله / اکبر واثقی استادیار / ساسان عشقی استادیار پژوهشکده

مهندسی سازه پژوهشگاه

## ۱- چکیده

تفاوت عمده‌ای که این نوع خرابی با سایر خرابیهای ایجاد شده در پلها در زلزله‌های گذشته دارد این است که سقوط عرشه باعث ایجاد یک شکست کلی و ناگهانی در سازه می‌شود و کل سیستم از حیز انتفاع ساقط می‌گردد؛ اگرچه تمام اعضای سازه ممکن است صدمه‌ای ندیده باشند. در تصویر (۱) پل نیشینومیاکو در ژاپن با ۵۲ متر دهانه نشان داده شده است. اگرچه طول نشیمن این پل حدود ۸۰ سانتیمتر بوده است، ولی بر اثر زلزله ۱۹۹۵ کوبه، پدیده روانگرایی و جابه‌جایی عرضی پایه، عرشه از جای خود خارج شده و فروریخته است؛ ولی سایر اجزای پل سالم مانده‌اند. تصویرهای (۲) و (۳) نیز نمونه‌های دیگری از پلهای آسیب دیده‌اند.

کوتاه بودن طول نشیمن پلها و سقوط تابلیه (روسازه) از روی تکیه‌گاه یکی از عوامل مهم در خرابی پلها بر اثر وقوع زلزله‌های گذشته بوده است. در این مقاله خرابیهای زلزله‌های گذشته مرور و عوامل مؤثر در محاسبه و طراحی طول نشیمن مورد نیاز در پلهایی که بخش روسازه امکان حرکت روی تکیه‌گاه را دارد برای پیشگیری از سقوط تابلیه شرح داده شده است. علاوه بر آن، روابط مربوط به طول نشیمن در آیین‌نامه‌های معتبر دنیا بررسی، مقایسه و شرح مختصری در مورد روشهای تقویت پلهای با نشیمن کوتاه ارائه گردیده است. **کلیدواژه‌ها:** پل، طول نشیمنگاه، تابلیه، تورب، طراحی لرزه‌ای پلها

## ۲- مقدمه

در پلهایی که تابلیه امکان حرکت بر روی تکیه‌گاه را دارد خطر سقوط عرشه از روی تکیه‌گاه یکی از مسائل مهم، می‌باشد. تغییر مکانهای بزرگتر از طول اتکاء موجود در محل قرارگیری عرشه بر روی پایه‌ها یا کوله‌ها به سقوط عرشه از روی تکیه‌گاه منجر گردیده است.



تصویر (۱): پل نیشینومیاکو در زلزله ۱۹۹۵ کوبه ژاپن

### ۳-۲- ارتفاع پل

در اغلب موارد، بیشینه جابه‌جایی لرزه‌ای پلها با افزایش ارتفاع افزوده می‌شود؛ چرا که سازه نرم‌تر می‌گردد. با افزایش ارتفاع، بیشینه جابه‌جایی نسبی آنقدر افزایش می‌یابد تا به حدنهایی خود برسد. به نظر می‌رسد یک حدنهایی برای ارتفاع در آیین‌نامه‌ها لحاظ نشده باشد؛ چرا که پلهای مرتفع، بیشینه جابه‌جایی تقریباً یکسانی دارند.

### ۳-۳- بیشینه شتاب زمین (PGA)

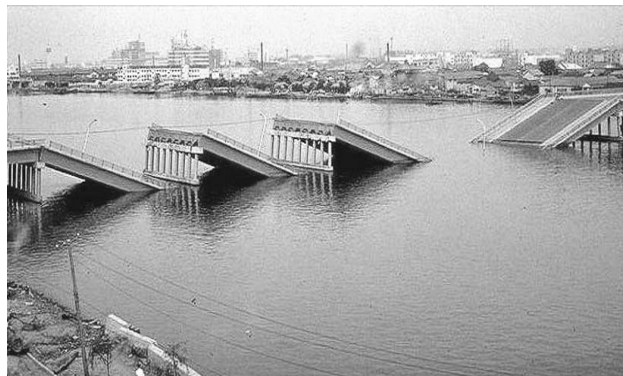
پیش‌بینی بیشینه شتاب زمین نیازمند بررسی پارامترهای مؤثر در آن می‌باشد و بی‌تردید در نواحی بالرزخیزی متفاوت و جنس بستر مختلف جابه‌جایی عرشه یکسان نخواهد بود. اصولاً با افزایش بیشینه شتاب زلزله تأثیر ارتفاع و طول پل در جابه‌جایی حداکثر آن بیشتر می‌گردد؛ لذا اثر PGA در روابط آیین‌نامه‌ای به صورت تصحیح ضرایب طول و ارتفاع برای نواحی بالرزخیزی مختلف آمده است. به عنوان مثال، مطابق آیین‌نامه آشتو طول نشیمن در مناطق زلزله‌خیز شدید نسبت به مناطق زلزله‌خیز متوسط  $1/5$  برابر است.

### ۳-۴- حرکت پایه‌ها در جهات مخالف

رفتار پایه‌ها باید به طور منفرد بررسی و جابه‌جایی متناظر هر کدام محاسبه گردد و در نهایت تقابل آنها با یکدیگر و احتمال حرکت‌های غیرهم‌فاز در موضوع خطر سقوط عرشه دیده شود. این موضوع بویژه در پلهای بادخانه بلند که پایه‌ها در فاصله بیشتری از هم قرار دارند بسته به نحوه عبور امواج زلزله از محل حائز اهمیت بیشتری می‌باشد.

### ۳-۵- شیب طولی پل

از دیگر دلایل آسیب‌پذیری پلها بر اثر افتادن عرشه می‌توان به شیب عرشه اشاره نمود. این عرشه‌ها متناسب با شیب خود



تصویر (۲): زلزله ۱۹۶۴ نیگاتای ژاپن



تصویر (۳): سقوط تابلیه در پل San Francisco-Oakland در زلزله ۱۹۸۹ لومبارینا

از آنجایی که اکثر پلهای متداول در ایران دارای سیستم تابلیه دو سر ساده با تکیه‌گاه الاستومری است، بررسی این موضوع در پلهای ایران بویژه در محل پایه‌های میانی حائز اهمیت فراوانی است.

### ۳- عوامل مؤثر در طول نشیمنگاه پلها

در این بخش مهمترین عوامل مؤثر در طراحی طول نشیمنگاه بررسی گردیده است.

### ۳-۱- طول پل

افزایش طول دهانه پل باعث افزایش سهم جرم پایه‌ها، کاهش سختی تابلیه و در نهایت باعث افزایش میزان جابه‌جایی لرزه‌ای عرشه می‌گردد و در پلهای با سیستم قاب که تابلیه با پایه‌ها یکپارچه است طول دهانه پل تأثیر مستقیمی بر روی سختی و زمان تناوب مد اصلی پل خواهد داشت.



تصویر (۴): تخریب دهانه‌های طرفین پل GAVIN CANYON در زلزله ۱۹۹۴ نورتریج

عوامل مؤثر در رفتار لرزه‌ای این پلها در مرجع [۱] ذکر شده که تمام آنها در میزان بیشینه جابه‌جاییهای تابلیه و طول نشیمن مورد نیاز مؤثر می‌باشند. با توجه به زلزله‌های گذشته و خرابیهای آنها به نظر می‌رسد در این عوامل نقش خروج از مرکزیت که باعث تشدید پیچش پل می‌گردد بیشتر باشد.

### ۳-۸- نحوه اتصال و مهار تابلیه در محل تکیه‌گاه

بدیهی است در پلهایی که تمهیدات و مهاربندیهای کافی در محل نشیمن برای پیشگیری از سقوط عرشه در نظر گرفته شده باشد به طول نشیمن کمتری نیاز خواهد بود. در گذشته برای جلوگیری از لغزش شاهتیرهای عبورگاه از روی پایه‌های پل به نیروی اصطکاکی در محل تکیه‌گاه اکتفا می‌شد؛ لیکن امروزه با تعبیه جزئیات مکانیکی، شاهتیرهای عبورگاه را طوری به پایه‌ها وصل می‌نمایند که:

- از لغزش و واژگونی عبورگاه پل در هنگام زلزله جلوگیری شود؛

- هیچ‌گونه مزاحمتی در مقابل دورانهای ناشی از تأثیر بارهای مرده و زنده و افزایش طول بر اثر حرارت به وجود نیاید. به عبارت دیگر، تنها برای اثر زلزله طراحی شده باشد. در شکل‌های (۱، الف تا ت) روشهای مختلف مهار و اتصال تابلیه پایه پل نشان داده شده است [۲].

تمایل به سرازیر شدن در زلزله دارند و شتاب زلزله باعث تشدید این مسأله خواهد شد.

### ۳-۶- چرخش و تغییر مکانهای شالوده پایه‌ها

چرخش و تغییر مکانهای شالوده پایه‌ها در میزان جابه‌جایی لرزه‌ای پایه و در نتیجه در مقدار نشیمن مورد نیاز، مؤثر خواهند بود. این موضوع در پایه‌های با شالوده سطحی از اهمیت بیشتری برخوردار است.

### ۳-۷- تورب پل (Skew)

پارامترهای مؤثر در رفتار پلهای مورب و راستای ارتعاش مدهای آنها نسبت به پلهای مستقیم متفاوت می‌باشد. در این پلها:

- راستای ارتعاش به جای راستای طولی و عرضی معمولاً در راستای موازی با پایه‌ها و عمود بر آنهاست (بسته به شرایط تکیه‌گاهی)؛

- در برخی حالات پربود ارتعاش پیچشی ممکن است از مدهای انتقالی بزرگتر باشد و قبل از آنها اتفاق بیفتد. به همین دلیل است که موضوع خطر سقوط تابلیه در پلهای مورب جدی‌تر است؛ چراکه در چرخش تابلیه حول محور قائم اگر قيود کافی وجود نداشته باشد، بسته به نسبت عرض به دهانه آن به راحتی از تکیه‌گاه خارج می‌شود و در نتیجه یا تابلیه کلاً سقوط می‌کند و یا تنها بخشی از آن از تکیه‌گاه خارج شده و آسیب خواهد دید. در تصویر (۴) پل Gavin Canyon در زلزله ۱۹۹۴ نورتریج نشان داده شده است که علی‌رغم تقویت تابلیه با کابل‌های یکسره‌کننده، به دلیل تورب و پیچش تابلیه از محل نشیمن کوتاه خود خارج و پل تخریب گردید.

در تصویر (۵) پل اتصالی باند شمالی تقاطع SR14/I-5 در زلزله نورتریج که به دلیل ضعف ضامنهای پل آسیب دیده، نشان داده شده است.

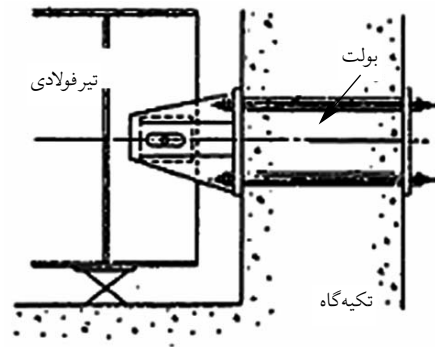
سؤالی که مطرح می شود این است که ضامنها برای چه نیروهایی باید طراحی شوند؟

آیین نامه زلزله پلهای ایران [۳] در بند ۸-۲ بیان می دارد که نیرویی که مهارکننده ها و یا ضامنها باید بتوانند تحمل کنند، برابر با حاصل ضرب شتاب مبنای طرح در جرم آن قسمت از عرشه است که مهار می شود.

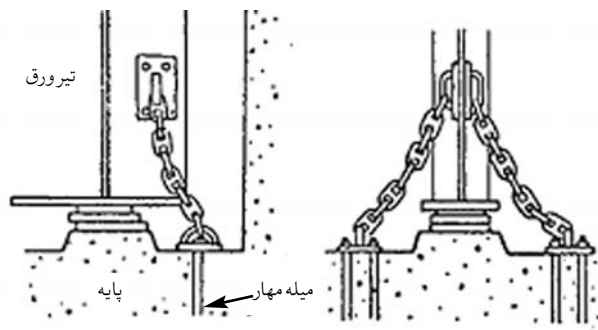


تصویر (۵): وضعیت نشیمن و کلیدهای برشی عرضی در کوله ۱ پل SR14/I-5 در آیین نامه آشتو LRFD [۴] در مورد پلهای تک دهانه بیان شده که هیچ تحلیل لرزه ای خاصی نیاز نیست؛ مگر اینکه، در این پلها طول نشیمن کافی و قیود مناسبی برای جلوگیری از سقوط عرشه در نظر گرفته شود. در بند ۳-۱۰-۹-۱ ذکر گردیده است که در پلهای تک دهانه این ضامنها باید برای نیرویی معادل حاصل ضرب جرم تابلیه در شتاب مبنای طرح ( $S \times A$ ) و ضریب نوع خاک محل پل طراحی شود ( $S=1, 1.2, 1.5, 2$ ).

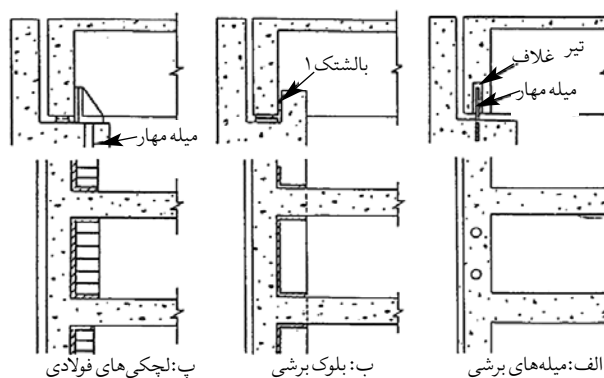
در مرجع [۵] مقدار نیروهای طراحی قیود در پلهای مورب بررسی شده و با تحلیل دینامیکی و پارامتریک، نمونه های زیادی از این پلها با شرایط تکیه گاهی، دهانه، عرض و زاویه تورب متفاوت و با تحلیل دینامیکی طیفی با استفاده از



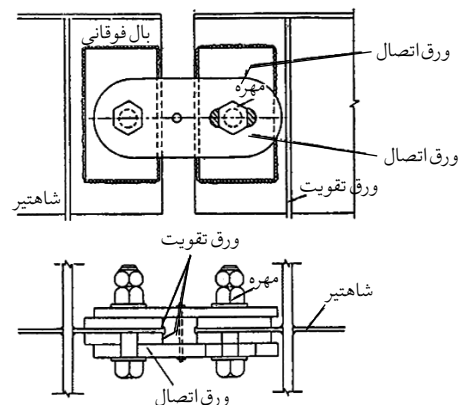
الف: اتصال تیر فولادی به پایه



ب: اتصال تیر فولادی به پایه



پ: استفاده از بلوکهای برشی



ت: اتصال دو تیر هم امتداد به یکدیگر

شکل (۱): مهار عبورگاه (عرشه) به پایه های پل

ضربه گیر) در انتهای تابلیه و در محل دیوار حائل عبورگاه برای کاهش اثر برخورد و جلوگیری از تخریب این بخش از کوله در نظر می گیرند.

#### ۴ - بررسی موضوع طول نشیمن در آیین نامه های معتبر دنیا

با توجه به عوامل مذکور با بررسی موضوع طول نشیمن در آیین نامه های معتبر دنیا امکان آشنایی با نحوه برخورد آنها با این پارامترها مشخص می گردد؛ لذا در این بخش به طور خلاصه ضوابط مربوطه شرح داده شده است.

##### ۴-۱ - آیین نامه آشتو LRFD

در بند ۴-۷-۴-۴ آیین نامه آشتو [۴] آمده است که برای طول نشیمن پل یا باید بیشینه جابه جایی ناشی از زلزله و یا درصدی از طول حاصل از رابطه (۱) را در نظر گرفت و یا اینکه با تعبیه قیود و ضامنهای مناسب از حرکت طولی تابلیه جلوگیری نمود:

$$N = (200 + 1.7L + 6.7H)(1 + 0.000125S^2) \quad (1)$$

در رابطه (۱):

$N$  = طول نشیمن لازم بر حسب میلیمتر (شکل ۲)،

$L$  = طول عرشه پل تا درز انبساط مجاور یا انتهای عرشه پل بر حسب متر، برای مفصلهای میان دهانه برابر با مجموع و فاصله تا دو طرف مفصل و برای پل یک دهانه برابر با طول تابلیه،  
 $H$  = ارتفاع ستون به متر، در کوله ها متوسط ارتفاع ستونهای بین کوله و محل درز انبساط بعدی، در پلهای یک دهانه برابر صفر،  
در پایه های میانی ارتفاع ستون یا دیوار در آن پایه، در درزهای داخل دهانه متوسط ارتفاع دو ستون مجاور درز،  
 $S$  = زاویه تورب بر حسب درجه، بین محور طولی پل با خط

طیفهای آیین نامه آشتو و تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی تحت شتابنگاشت ال سنترو این نتیجه حاصل شده است که نیروهای مورد نیاز در طراحی تکیه گاهها بیش از نیروهای حاصل از روابط آیین نامه ای است و پیشنهاد شده که برای مناطق با شتاب مبنای بیشتر از ۰/۱۹ (نواحی ۳ و ۴ در تقسیم بندی آشتو) دستگاہهای تکیه گاهی برای نیرویی معادل حاصل - ضرب 2.5A در جرم تابلیه طراحی شود. در مورد پلهای چند دهانه، نیروی طراحی آشتو و آیین نامه ایران یکسان است.

##### ۳-۹ - سایر عوامل غیر لرزه ای مؤثر

علاوه بر بحث رفتار لرزه ای پل عوامل سازه ای دیگری از جمله: دما، خزش و جمع شدگی (Shrinkage) نیز وجود دارند که در میزان طول مؤثر تکیه گاه مؤثرند. طول نشیمن پل باید تغییرات طول ناشی از اختلاف دما را تأمین نماید. افت یا جمع شدگی بتن بدون وابستگی به نیروی خارجی می باشد. کرنش ناشی از افت، تابع زمان و میزان رطوبت موجود می باشد. مقدار نهایی این افت بین ۰/۰۰۰۲ تا ۰/۰۰۰۸ می باشد. خزش (تغییر شکل وابسته به زمان بتن تحت تنش ثابت) بیشتر در پلهای پیش تنیده که طیف وسیعی از تابلیه پلهارادر برمی گیرند ظاهر خواهد شد؛ بنابراین در تعیین طول نشیمن باید در نظر گرفته شوند.

در کوله ها فاصله مناسبی مابین تابلیه و دیواره کوله برای تأمین امکان حرکت طولی تابلیه تحت اثر بارهای بهره برداری (نیروی ترمز، انبساط حرارتی) و امکان تغییر مکانهای ارتجاعی کوله بر اثر فشار خاک بدون ایجاد هیچ گونه برخورد، باید فراهم گردد. این فاصله را در طول نشیمن نیز باید در نظر گرفت.

برخی طراحان برخورد تابلیه و کوله ها را در هنگام وقوع زلزله بلامانع می دانند؛ لیکن جزئیات مناسبی (مانند لاستیکهای

عمود بر محور پایه‌ها.

در نواحی لرزه‌خیزی مختلف و بسته به نوع زمین درصد لازم از N مطابق مقادیر جدول (۱) مشخص می‌گردد. مشاهده می‌گردد که عوامل طول، ارتفاع، زاویه تورب پل و بیشینه شتاب زمین در رابطه وارد گردیده است.

جدول (۱): تعیین درصد طول نشیمن در نواحی لرزه‌خیزی متفاوت

درصد N	زمین	ضریب لرزه طراحی	ناحیه لرزه‌خیزی
≥ ۵۰	II یا I	> ۰/۰۲۵	۱
۱۰۰	II یا IV	> ۰/۰۲۵	۱
۱۰۰	تمام مقادیر	< ۰/۰۲۵	۱
۱۰۰	تمام مقادیر	تمام مقادیر	۲
۱۵۰	تمام مقادیر	تمام مقادیر	۳
۱۵۰	تمام مقادیر	تمام مقادیر	۴

زلزله موجود و نیز اهمیت سازه تعیین می‌گردد. حداقل طولهای پیشنهاد شده ناحیه لرزه‌خیزی A و B (رابطه ۲) و C و D (رابطه ۳) عبارتند از:

$$N = (203 + 1.67L + 6.66H)(1 + 0.000125S^2) \quad (۲)$$

$$N = (305 + 2.50L + 10H)(1 + 0.000125S^2) \quad (۳)$$

پارامترهای روابط، مشابه قبل می‌باشد. ابعاد عمود بر سطح پایه و یا کوله در نظر گرفته می‌شود.

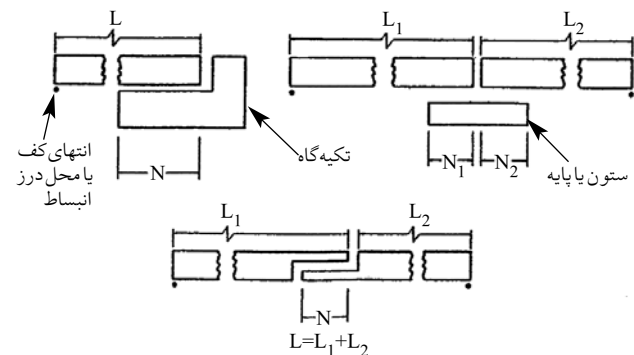
این آیین نامه همچنین برای نواحی لرزه‌خیزی C و D مقرر می‌دارد که حداقل طول نشیمن برابر با بیشینه جابه‌جایی حاصل از تحلیل و رابطه (۳) می‌باشد. ضمن آنکه اثرهای زیر نیز در محاسبه جابه‌جایی ناشی از زلزله لحاظ می‌گردد:

- تغییر مکانهای پیچشی تابلیه پل در پلهای مورب؛
- چرخش یا تغییر مکانهای افقی شالوده؛
- حرکت‌های در خلاف جهت بخشهای مختلف پل؛
- چرخش در خلاف جهت کوله‌ها و پایه‌ها ناشی از عبور امواج لرزه‌ای.

#### ۴-۳ - آیین‌نامه کالیفرنیا

بندهای ۷-۲-۵-۴ و ۷-۸-۳ این آیین‌نامه [۷] طول نشیمن را برای پایه‌ها و کوله‌ها (شکل‌های ۳ و ۴) برابر با مجموع جابه‌جاییهای ناشی از تغییر مکانهای حرارتی، جمع‌شدگی و خزش، کوتاه‌شدگی ناشی از پیش‌تندگی و تغییر مکانهای نسبی ناشی از زلزله مطابق رابطه (۴) به اضافه ۱۰۰ میلیمتر مقرر می‌دارد و عرض نشیمن، در جهت عمود بر تکیه‌گاه در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر آن، حداقل طول نشیمن را برای درزهای انبساط پایه‌های میانی پل برابر با ۶۰۰ میلیمتر (رابطه ۵) و برای کوله‌ها برابر با ۷۶۰ میلیمتر (رابطه ۶) تعیین می‌نماید:

$$\Delta_{eq} = \sqrt{(\Delta_D^1)^2 + (\Delta_D^2)^2} \quad (۴)$$



شکل (۲): وضعیتهای مختلف استقرار تابلیه برای تأمین طول حداقل تکیه‌گاه

#### ۴-۲ - آیین‌نامه آشتو ۹۶

طبق ضوابط آیین‌نامه آشتو ۹۶ [۶]، به طور کلی بدون توجه به نوع شرایط لرزه‌خیزی محل و تعداد دهانه‌های موجود، طول نشیمن باید فضای لازم را برای درزهای انبساطی تأمین نماید و علاوه بر آن حداقل طول لازم برای نشیمن نیز کنترل گردد (بند ۳-۱۰ آیین‌نامه).

رابطه ارائه شده برای حداقل طول نشیمن، بر اساس تقسیم بندی لرزه‌خیزی منطقه متفاوت می‌باشد. از این رو، نواحی لرزه‌خیزی به ترتیب شدت لرزه‌خیزی به مناطق A، B، C و D تقسیم می‌گردند. محدوده نواحی لرزه‌خیزی بر اساس ضریب

روابط (۷)، (۸) و (۹) محاسبه می شود:

$$S_E = u_R + u_G \geq S_{EM} \quad (۷)$$

$$S_{EM} = 70 + 0.51 \quad (۸)$$

$$u_G = 100 \varepsilon_G L \quad (۹)$$

در این روابط:

$S_E$  = طول نشیمن تیر در تکیه گاه بر حسب سانتیمتر (مطابق

شکل ۵)،

$u_R$  = جابه جایی نسبی بین روسازه و لبه فوقانی زیرسازه بر

حسب سانتیمتر تحت اثر نیروهای معادل ناشی از روش

شکل پذیری (فصل ۵ آیین نامه) بدون در نظر گرفتن اثر

هرگونه ضامن یا مهاربندی و در صورت بروز روانگرایی

لحاظ نمودن اثر آن،

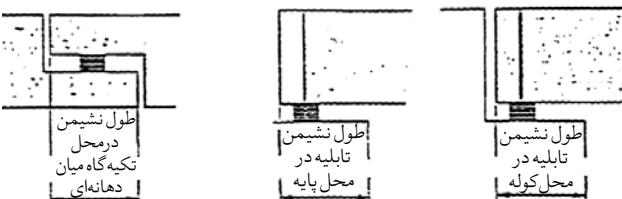
$u_G$  = تغییر مکانهای نسبی زمین ناشی از کرنش زمین در زلزله،

$S_{EM}$  = حداقل طول نشیمن بر حسب سانتیمتر،

$l$  = طول دهانه مؤثر بر حسب متر،

$\varepsilon_G$  = کرنش زمین در هنگام زلزله برابر با ۰/۰۰۲۵، ۰/۰۰۳۷۵ و

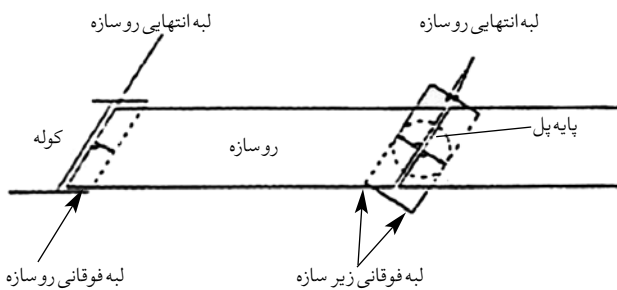
۰/۰۰۵ به ترتیب برای زمینهای نوع I، II و III،



ب: درز میان دهانه ای

الف: درز انتهایی

شکل (۵): طول نشیمن در تکیه گاه



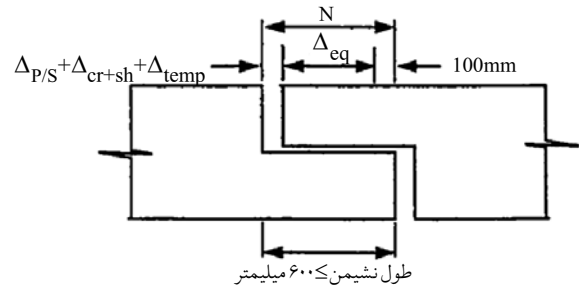
شکل (۶): طول نشیمن در پلهای مورب

$$N(\text{mm}) \geq (\Delta_{P/S} + \Delta_{cr+sh} + \Delta_{temp} + \Delta_{eq} + 100) \geq 600 \text{mm} \quad (۵)$$

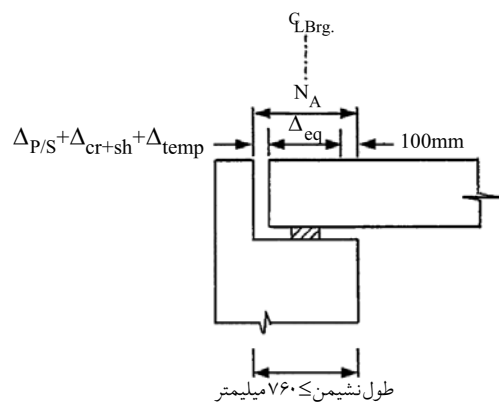
$$N_A(\text{mm}) \geq (\Delta_{P/S} + \Delta_{cr+sh} + \Delta_{temp} + \Delta_{eq} + 100) \geq 760 \text{mm} \quad (۶)$$

در رابطه (۴)،  $\Delta_{eq}$  تغییر مکان نسبی مورد نیاز ناشی از زلزله و

$\ddot{\Delta}_D^{(i)}$  بیشینه تغییر مکان لرزه ای مورد نیاز برای هر قاب می باشد.



شکل (۳): طول نشیمنگاه مورد نیاز در پایه ها و درزهای میان دهانه ای



شکل (۴): طول نشیمنگاه مورد نیاز در کوله ها

#### ۴-۴- آیین نامه ژاپن

فصل ۱۲ آیین نامه ژاپن [۸] به موضوع پیشگیری از سقوط

عرشه اختصاص یافته است و بیان می دارد که می توان با

در نظر گرفتن طول نشیمن مناسب برای تابلیه بر روی تکیه گاه،

تعبیه ضامنها و مهارکننده های مناسب و یا استفاده از اجزای

محدود کننده جابه جایی، از سقوط عرشه از تکیه گاه پیشگیری

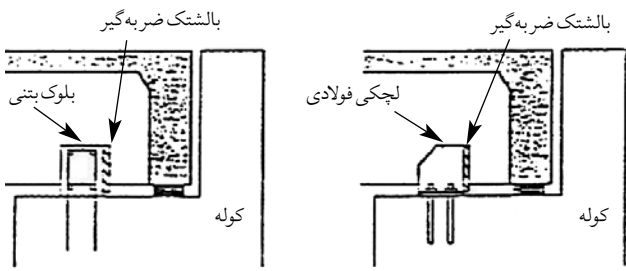
نمود. انتخاب روش مناسب به نوع سیستم پل و تکیه گاه آن و

وضعیت زمین بستگی دارد. بند ۱۳-۲ آیین نامه در خصوص

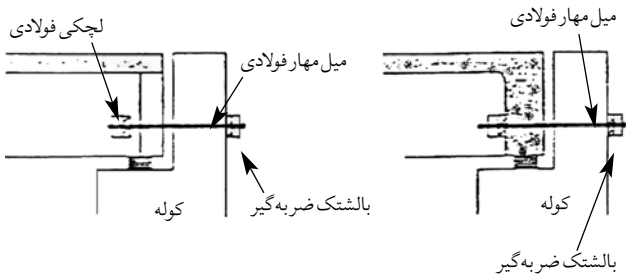
روابط مربوط به محاسبه طول نشیمن می باشد. طول نشیمن

به صورت عمود بر تکیه گاه و مطابق شکل های (۵) و (۶) از

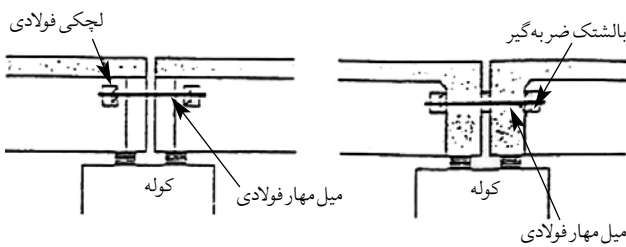
این آیین نامه برای مهار تابلیه نیز جزئیات و ضوابطی را ارائه نموده است که اشکال (۹) تا (۱۱) نمونه هایی از آنهاست.



شکل (۹): بلوک های برشی



شکل (۱۰): مهار تابلیه



شکل (۱۱): روشهای پیشگیری از سقوط

#### ۴-۵ - ضوابط طول نشیمن گاه در آیین نامه نیوزلند

آیین نامه نیوزلند [۹] حداقل طول نشیمن را مطابق با نحوه مهار تابلیه در محل تکیه گاه مطابق رابطه های (۱۲) برای حالت بدون هرگونه مهار، (۱۳) در حالت مهار لقی و (۱۴) در حالت مهار کامل تعیین می نماید:

$$N = 2E + 100\text{mm} \geq 400\text{mm} \quad (12)$$

$$E = EQ + SG + TP/3$$

$$N = 1.5E^1 + 100\text{mm} \geq 300\text{mm} \quad (13)$$

$L$  = فاصله بین زیرسازه های مرتبط با طول نشیمن بر حسب متر. آیین نامه برای پلهای مورب شرایط ویژه ای را در نظر گرفته است و با توجه به شکل های (۷) و (۸) برای پلهای مورب کم عرضی که رابطه (۱۰) برقرار باشد طول نشیمن از رابطه (۱۱) باید محاسبه گردد و اگر مقدار آن از مقادیر حاصل از روابط (۷) و (۸) بیشتر باشد به عنوان طول نشیمن در نظر گرفته شود:

$$\frac{\sin 2\theta}{2} \left\langle \frac{b}{L} \right. \quad (10)$$

$$S_{E\theta} = 50L_{\theta}(\sin \theta - \sin(\theta - \alpha_E)) \quad (11)$$

در رابطه های (۱۰) و (۱۱):

$\theta$  = زاویه تورب مطابق شکل (۸) بر حسب درجه،

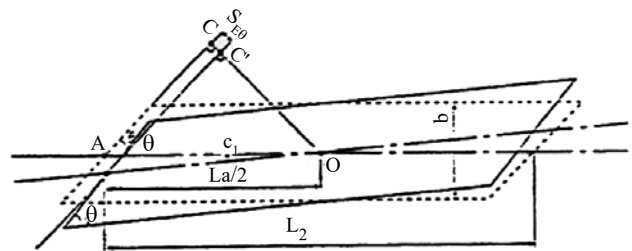
$b$  = عرض کل تابلیه بر حسب متر،

$L$  = طول روسازه به متر (شکل ۸)،

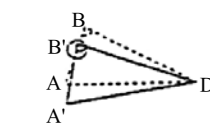
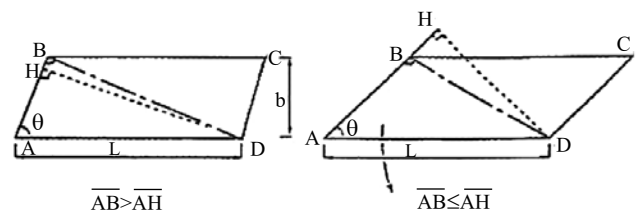
$S_{E\theta}$  = طول نشیمن در پلهای مورب بر حسب سانتیمتر،

$L_{\theta}$  = طول عرشه مطابق شکل (۷)،

$\alpha_E$  = زاویه چرخش مرزی سقوط عرشه عموماً برابر با  $5^\circ$  درجه (شکل ۸).



شکل (۷): طول نشیمن مورد نیاز پلهای مورب



الف: با امکان چرخش  $\angle DBA \geq 90^\circ$  ب: عدم امکان چرخش  $\angle DBA < 90^\circ$

شکل (۸): امکان خروج عرشه در پلهای مورب کم عرض



(۱۴)

$$N = 200\text{mm}$$

در رابطه (۱۲)، E مجموع جابه‌جاییهای نسبی ناشی از زلزله EQ، بارهای بهره‌برداری (SG) و تغییر مکان حرارتی (TP)، در رابطه (۱۳) نیز  $E^1$  جابه‌جایی نسبی است که طی آن مهارلق عمل خواهد نمود ( $E^1 > E$ ) و در رابطه (۱۴)، در حالت مهار کامل باشد.

#### ۴-۶- ضوابط طول نشیمنگاه در آیین‌نامه اروپا

آیین‌نامه اروپا [۱۰] حداقل طول نشیمن را ۴۰۰ میلیمتر و از رابطه (۱۵) تعیین می‌نماید:

$$l_{ov} = L \frac{v_g}{C_p} + d_{ef} + m \quad (15)$$

در رابطه (۱۵)،  $l_{ov}$  حداقل طول نشیمن، L طول مؤثر عرشه،  $v_g$  بیشینه سرعت زمین با توجه به بیشینه شتاب آن،  $C_p$  سرعت موج فشاری در لایه‌های سطحی خاک،  $d_{ef}$  جابه‌جایی لرزه‌ای قابل انتظار روسازه در محل تکیه‌گاه و m طول حداقل و برابر با ۴۰ سانتیمتر است.

این آیین‌نامه بسته به رده‌بندی خاک به سه دسته A، B و C، مقادیر  $C_p$  و  $v_g$  را بیان نموده است. به عنوان مثال، مقدار  $C_p$  برابر ۵۰۰، ۳۰۰ و ۱۵۰ متر بر ثانیه برای خاکهای نوع A، B و C می‌باشد.

#### ۴-۷- آیین‌نامه طرح پلهای شوسه و راه آهن ایران در برابر زلزله

برطبق بند ۲-۸-۵ این آیین‌نامه [۳]، طول نشیمنگاه انتهای آزاد عرشه‌هایی که اجازه حرکت بر روی تکیه‌گاه را دارند نباید کمتر از مقدار رابطه (۱۶) اختیار گردد:

$$S = 0.6 + 0.005L + 0.01H \quad (16)$$

در رابطه (۱۶)، S طول نشیمنگاه به متر، L فاصله محل تکیه‌گاه تا محل درز انبساط بعدی یا انتهای عرشه به متر و H ارتفاع ستون به متر (در کوله‌ها متوسط ارتفاع ستونهای بین کوله

و محل درز انبساط بعدی) است. این ارتفاع در پلهای یک دهانه برابر صفر، در پایه‌های میانی ارتفاع ستون یا دیوار در آن پایه و در درزهای داخل دهانه، متوسط ارتفاع دو ستون مجاور درز است.

در رابطه ارائه شده در آیین‌نامه برای حداقل طول نشیمن پارامترهای ارتفاع، طول پل و یک مقدار حداقل ۶۰ سانتیمتر مشاهده می‌شود. از موارد مهمی که در این ضابطه دیده نشده است می‌توان به اثر شتاب مبنای طرح زلزله، تأثیر نحوه اتصال روسازه به زیرسازه و زاویه تورب پل اشاره نمود.

بدیهی است که در مناطق با لرزه‌خیزی کم و یا در پلهایی که با تمهیدات خاص تابلیه به پایه مهار شده است به طول نشیمن کمتری نیاز خواهد بود. این موضوع برای ابعاد پایه‌های میانی که طول نشیمن دهانه‌های طرفین را تأمین می‌نماید بسیار حائز اهمیت است و منجر به ابعاد بسیار بزرگ برای تمام پلها با هر شرایطی خواهد شد.

اثر زاویه تورب نیز باید به‌طور واضح و جدا لحاظ گردد و صرفاً با افزایش طول حداقل نشیمن و افزایش ضرایب تأثیر طول و ارتفاع به لحاظ اقتصادی به صرفه نخواهد بود و به نظر می‌رسد طراحی این آیین‌نامه با استفاده از ضرایب طول و ارتفاع به‌طور محافظه‌کارانه اثر تمامی عوامل مؤثر احتمالی را در نظر گرفته باشند.

#### ۵- مقایسه روابط آیین‌نامه‌ها

در جدول (۲) ضمن مقایسه روابط آیین‌نامه‌های مختلف، نحوه برخورد آنها با عوامل مؤثر مذکور بیان شده است. در این جدول پارامترهایی که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در روابط لحاظ شده‌اند و همچنین عواملی که لحاظ نشده‌اند، مشخص گردیده است.

جدول (۲): مقایسه روابط آیین نامه ها

چرخش پی	مهار روسازه	زاویه تورب	PGA زلزله	ارتفاع پل	طول پل	رابطه آیین نامه	
-	-	×	×	×	×	$N = (200 + 1.7L + 6.7H)(1 + 0.000125S^2)$	آشتو LRFD
+	+	×	×	×	×	$N = (305 + 2.50L + 10H)(1 + 0.000125S^2)$	آشتو ۹۶
-	+	+	+	+	+	$N \geq (\Delta_{P/S} + \Delta_{cr+sh} + \Delta_{temp} + \Delta_{eq} + 100) \geq 600mm$ $N_A \geq (\Delta_{P/S} + \Delta_{cr+sh} + \Delta_{temp} + \Delta_{eq} + 100) \geq 760mm$	کالیفرنیا
×	×	×	+	+	×	$S_E = u_R + u_G \geq S_{EM}$ $S_{EM} = 70 + 0.5l$	ژاپن
-	×	+	+	+	+	$N = 2E + 100mm \geq 400mm$ $N = 1.5E^1 + 100mm \geq 300mm$ $N = 200mm$	نیوزلند
-	+	+	×	+	×	$l_{ov} = L \frac{V_G}{C_p} + d_{ef} + m$	EuroCode 94
-	-	-	-	×	×	$0.6 + 0.005L + 0.01H$	ایران

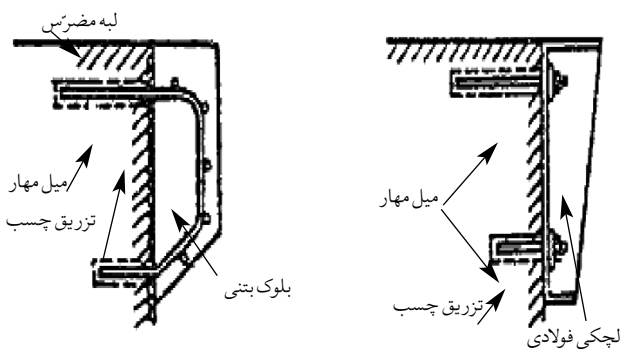
- لحاظ نشده

+ غیر مستقیم لحاظ شده

\* مستقیم در روابط لحاظ شده

نیروی محوری) در عرشه استفاده کرد [۱۱]  
(شکل ۱۳، الف و ب)؛

- ۳- تغییر شکل باربری سیستم پل از حالت تکیه گاه غلتکی به گیردار و بازنگری کل سیستم و باز توزیع نیروها در کل سیستم؛  
۴- تعبیه ضامنهای مناسب در محل تکیه گاه مطابق نمونه های شکل (۱) و (۹).



شکل (۱۲): تعریض نشیمن

## ۶- مروری اجمالی بر روشهای تقویت پلهای با نشیمن کوتاه

عدم کفایت طول نشیمن با توجه به ضوابط دست بالای آیین نامه در زلزله های گذشته در پلهای ایران و لااقل در پلهای مستقیم کمتر دیده شده است؛ ولیکن در پلهای قدیمی تر و یا پلهای مورب این موضوع قابل توجه است. با توجه به ضوابط آیین نامه ها یا جابه جاییهای محاسباتی ناشی از زلزله و عوامل ذکر شده در بخش قبل، اگر پلی دارای طول نشیمن کافی نباشد با مروری بر عوامل مؤثر در طول نشیمن می توان راهکارهایی را پیشنهاد نمود. این راهکارها عبارتند از:  
۱- تعریض سرستون و افزایش طول نشیمن (شکل ۱۲) [۱۱]؛  
۲- استفاده از مهاربندهای مناسب که این مهارها را می توان برای مهار تابلیه به تکیه گاه و یا برای ایجاد یکسرگی (برای

پلهای مورب. سمینار کارشناسی ارشد. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.  
 ۲. طاحونی، شاپور. (بهار ۱۳۷۳). طراحی پل (جلد دوم). تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۳. آیین‌نامه طرح پلهای شوسه و راه آهن در برابر زلزله، ابلاغیه شماره ۲۰۱۶ مورخ ۱۸/۴/۷۴ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (چاپ دوم، تابستان ۱۳۷۶).  
 نشریه ۲۳۵. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

4. AASHTO. (1998). *LRFD bridge design specification* (2nd ed.). Washington DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.

5. Maleki, S. (2001). Seismic design force for single-span slab-girder skewed bridges: *Electronic Journal of Structural Engineering*, 2.

6. AASHTO. (1996). *Standard specification for highway bridges* (16th ed.) Washington DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.

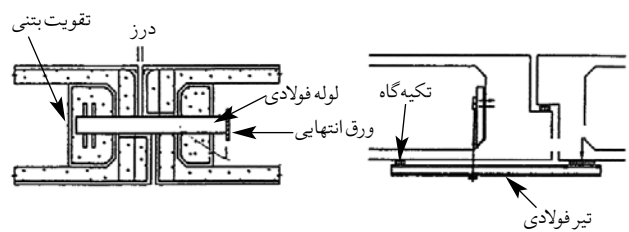
7. CALTRANS. *SEISMIC DESIGN CRITERIA*, Ver.1.3 February 2004. California Department of Transportation Division of Engineering Services.

8. Unjo, S. Bridge engineering references, design specification of highway bridges part V. Seismic Design, July 1998, Japan Road Association, 28 Jan. 2000.

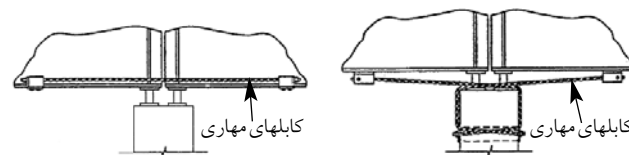
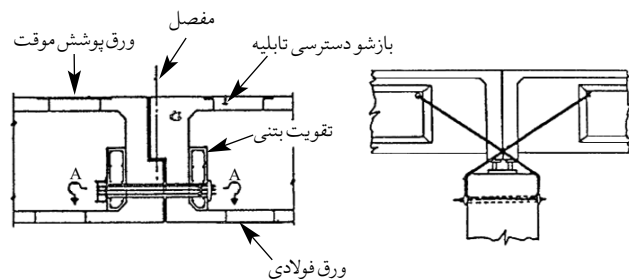
9. ATC-18. *Seismic design criteria for bridges and other highway structures: current and future*. Redwood City, California: Applied Technology Council, 1996 [47,54].

10. CEN. (1994). *Eurocode 8-Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures, Part V Bridges*.

11. Priesly, M.J.N., Calvi, G.M. (1996). *Seismic design and retrofit of bridges*. New York: John Wiley & sons. ◀



الف: تقویت درز انقطاع



ب: مهار تابلیه به یکدیگر و به تکیه‌گاه

شکل (۱۳): مهار تابلیه

## ۷- نتیجه‌گیری

مهمترین عوامل مؤثر در طراحی طول نشیمن در پلهای با امکان حرکت روسازه در محل تکیه‌گاه عبارتند از: طول پل، ارتفاع پل، بیشینه شتاب زمین، حرکت پایه‌ها در جهات مخالف، زاویه تورب پل، نحوه اتصال و مهار روسازه، شیب طولی پل، چرخش و تغییر مکانهای شالوده پایه‌ها و سایر عوامل غیرلرزه‌ای مانند دما، جمع شدگی و خزش.

این عوامل در آیین‌نامه‌های معتبر دنیا به روشهای مختلفی برای طراحی ایمن پل در برابر سقوط روسازه از تکیه‌گاه لحاظ گردیده‌است که در جدول (۲) روابط و پارامترهای هر آیین‌نامه به‌طور خلاصه ذکر و مقایسه گردید. روشهای تقویت پلهای ضعیف نیز بر پایه همین عوامل ارائه شد.

## ۸- مراجع

۱. پورندآف حقّی، مهدی. (۱۳۸۴). بررسی رفتار لرزه‌ای