

بررسی و مقایسه آیین نامه های طرح لرزه ای به منظور بهسازی لرزه ای پلها

ابراهیم امیری هرمزکی، هیمن حجت جلالی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه ، دانشگاه صنعتی شریف

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه ، دانشگاه صنعتی شریف

e_amiri@civil.sharif.edu

hojatjalali@mehr.sharif.edu

چکیده :

هدف اصلی ضوابط طرح لرزه ای آیین نامه ها تعیین معیارها و جزئیات مناسب برای طراحی پلهاست به گونه ای که خسارت وارده به پلها بعنوان مهمترین شریانهای حیاتی را به حداقل برساند. از آنجا که اکثریت پلها در ایران بر اساس نشریه شماره ۲۳۵ ایران (آیین نامه طرح پلهای راه و راه آهن در برابر زلزله) طراحی لرزه ای می گردند، مرور و مقایسه آیین نامه های لرزه ای کشورهای مختلف و مقایسه با نشریه ۲۳۵ ایران می تواند به تدوین آیین نامه مناسب برای بهسازی لرزه ای پلها کمک کند. این مقایسه همچنین می تواند ما را در دستیابی به معیارهای مناسب جهت بهسازی لرزه ای اینگونه سازه ها یاری نموده و جنبه هایی از نشریه ۲۳۵ ایران که نیاز به تکمیل و به روز شدن دارد را مشخص کند در این مقاله به مرور و مقایسه ضوابط لرزه ای آیین نامه های ایالات متحده آمریکا (LRFD ۲۰۰۵ Interim)، CALTRANS (۲۰۰۴)، ATC-32) و اروپا (EURO CODE) و ژاپن (JSCE) در موارد معیار عملکرد، طیف پاسخ، طبقه بندی خاک، آنالیز لرزه ای، بار زنده، فلسفه و رویکرد طراحی، بارگذاری لرزه ای و دیگر شاخص ها) به منظور دستیابی به ایرادات و کمبودهای نشریه ۲۳۵ بارگذاری لرزه ای ایران پرداخته می شود. امید است این مقاله گامی مناسب برای تدوین آیین نامه ای معتبر در طراحی و بهسازی لرزه ای پلها در ایران باشد. این مقایسه همچنین می تواند در انتخاب آیین نامه مناسب در طراحی لرزه ای پلها کمک کند.

کلمات کلیدی : بهسازی لرزه ای پلها ، مقایسه آیین نامه ها ، ضوابط لرزه ای پلها

مقدمه

هدف عمده طراحی لرزه ای پلها اینست که آنها بتوانند قابلیت بهره برداری خود را پس از زلزله های شدید حفظ نمایند. این قابلیت به فلسفه طراحی و همچنین شاخص عملکرد باز می گردد. در طراحی پلها ، آنها را به گروههای اهمیت مختلف تقسیم بندی کرده و بر حسب دوره بازگشت زلزله ، ضریب خطری به آنها اختصاص می یابد. در کشورهای مختلف از آیین نامه های متفاوتی برای طراحی لرزه ای پلها استفاده می شود. در این مقاله به مرور و مقایسه ضوابط لرزه ای آیین نامه های ایالات متحده آمریکا (LRFD (Interim 2005), CALTRANS (2004) ، ATC-32) و اروپا (EURO CODE) و ژاپن (JSCE) به منظور دستیابی به ایرادات و کمبودهای نشریه ۲۳۵ بارگذاری لرزه ای ایران پرداخته می شود.

سطوح زلزله تعریف شده در آیین نامه ها

آیین نامه های لرزه ای آمریکا [1],[2],[3] : این آیین نامه ها بطور کلی دو سطح زلزله را تعریف می نمایند. یکی زلزله های کوچک که احتمال اینکه در طول عمر مفید پل، زلزله ای بزرگتر از آن اتفاق بیافتد، ناچیز است و احتمال رخداد زلزله های شدیدتر از آنها در طول ۵۰ سال ، ۱۰٪ است. دومین دسته زلزله های بزرگ هستند که احتمال رخداد آن در طول عمر مفید سازه ناچیز است.

آیین نامه ژاپن [4]: این آیین نامه نیز بر حسب احتمال رخداد زلزله آنها را به دو دسته زلزله های ضعیف و زلزله های شدید تقسیم می کند. زلزله های ضعیف، زلزله هایی هستند که احتمال اینکه در طول عمر بهره برداری پل اتفاق بیافتد، بسیار زیاد است و زلزله های شدید زلزله هایی هستند که احتمال رخداد آن در همین عمر ناچیز است.

آیین نامه اروپا [5]: این آیین نامه نیز بر حسب احتمال رخداد زلزله در طول عمر مفید پل آنها را به دو دسته زلزله های کوچک و زلزله های بزرگ تقسیم می کند. زلزله های کوچک، زلزله هایی هستند که احتمال اینکه در طول عمر بهره برداری پل اتفاق بیافتد، بسیار زیاد است و زلزله های بزرگ زلزله هایی هستند که احتمال رخداد آن در همین عمر ناچیز است.

رویکرد طراحی

آیین نامه های آشتو ، کالیفرنیا و اروپا : برای زلزله های کوچک ، عملکرد سازه به صورت الاستیک باقی بماند و برای زلزله های بزرگتر جزئیات بیش مقاومتی و شکل پذیری رعایت گردد (یک سطح طراحی داریم).

توصیه های ATC-32 [1] و آیین نامه ژاپن : برای پلهای با اهمیت زیاد ، طراحی بوسیله ضریب لرزه ای انجام می گیرد و سپس این طراحی برای شکل پذیری و تغییرات احتمالی که در طراحی رخ خواهد داد ، کنترل می شود(دو سطح طراحی داریم). برای پلهای با اهمیت معمولی . برای زلزله های کوچک ، عملکرد سازه به صورت الاستیک باقی بماند و برای زلزله های بزرگتر جزئیات بیش مقاومتی و شکل پذیری باید رعایت گردد.

اثرات بار زنده

آیین نامه های آمریکا : این آیین نامه ها تنها زمانیکه نسبت بار زنده به بار مرده زیاد باشد ، بار زنده را در زمان زلزله تاثیر می دهد و بیشتر برای پلهایی که در شهرهای بزرگ با ترافیک سنگین قرار دارد ، استفاده می شود .

آیین نامه ژاپن و اروپا : این آیین نامه ها اثرات بار زنده را در هنگام زلزله در نظر نمی گیرد.

تحلیل لرزه ای و دسته بندی اهمیت

همه آیین نامه ها جدولی را ارائه می کنند که نوع تحلیل مورد استفاده بر اساس پهنه بندی لرزه ای و همچنین اهمیت پل مشخص شده است، که در جدول ۱ نمونه ای از جداول AASHTO [3] و در جدول شماره ۲ نمونه ای از آیین نامه ژاپن [4] نشان داده شده است.

جدول ۱- حداقل های لازم برای در نظر گرفتن اثرات لرزه ای مطابق AASHTO

Zone	Single Span Bridges	Multi Span Bridges					
		Other Bridges		Essential Bridges		Critical Bridges	
		Regular	Irregular	Regular	Irregular	Regular	Irregular
1	No	--	--	--	--	--	--
2	Seismic	SM	SM	SM	MM	MM	MM
3	design	SM	MM	MM	MM	MM	TH
4	required	SM	MM	MM	MM	TH	TH

جدول ۲- روش تحلیل لرزه ای پل ها بر اساس آیین نامه ژاپن

Dynamic properties Analysis method		Bridge Whose Earthquake Behavior is not Complex	Bridge Whose Earthquake Behavior is Complex	
			Case Where Static Analysis is Applicable	Case Where Static Analysis is Applicability is Limited
Static analysis	Seismic Coefficient Method	Required	Required	Required for setting of initial values and dimensions
	Ductility Design Method	Required	Required	Application studied according to structural properties
Dynamic Analysis		Not Required	Required for verification of seismic design results by static analysis	Required

در این جدول ضرایب ارائه شده مخفف کلمات زیر است.

UL : روش الاستیک بار گسترده

SM : روش الاستیک تک مدی

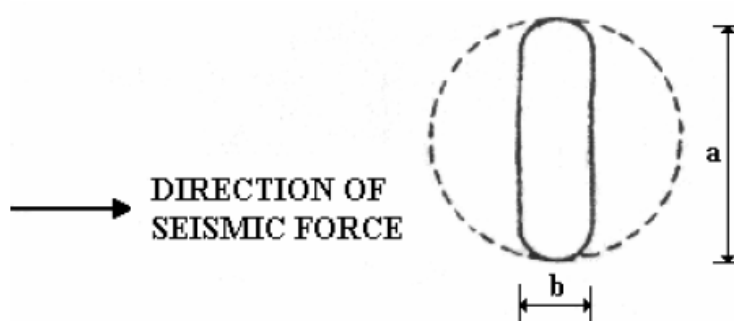
MM : روش الاستیک چند مدی

TH : روش تاریخچه زمانی

فشار هیدرودینامیکی

آیین نامه های ژاپن و اروپا به توضیح درباره این مبحث پرداخته اند ، در حالیکه آیین نامه های آمریکا در این باره مسکوت هستند. آیین نامه ژاپن مقدار این نیرو را به صورت تابعی از نسبت تصویر عمود بر جهت زلزله به عمق غوطه و پایه $(\frac{a}{H})$ معرفی می کند در حالیکه آیین نامه اروپا آنرا به

نسبت دو ضلع $(\frac{a}{b})$ ربط می دهد و از آنجایی که اثرات عمق غوطه وری را در نظر نمی گیرد به عمق غوطه وری ، جرم اضافی را نسبت می دهد.



شکل ۱- تعریف ابعاد پایه میانی

بحثی درباره تفاوت آیین نامه ها

تفاوت ضوابط لرزه ای آیین نامه های مختلف را می توان به صورت جدول ۳، جدول ۴، جدول ۵ و جدول ۶ ارائه کرد.

جدول ۳- تفاوت میان آیین نامه ها- کلیات

شماره	نوع ضابطه	آیین نامه های آمریکا			ژاپن	اروپا
		آشتو	کالیفرنیا	ATC-32		
۱.	کلیات					
(a)	شاخص عملکردی	آسیب جزئی در زلزله های کوچک و عدم فروریزش در زلزله های بزرگ	آسیب جزئی در زلزله های کوچک و عدم فروریزش در زلزله های بزرگ	بسته به نوع پل متفاوت است . هیچگاه نباید دچار فروریزش شود. پلهای مهم بلافاصله بعد از زلزله های شدید بتوانند تعمیر شوند	بسته به نوع پل متفاوت است . آسیب جزئی در زلزله های کوچک و عدم فروریزش در زلزله های بزرگ	آسیب جزئی در زلزله های کوچک و عدم فروریزش در زلزله های بزرگ
(b)	فلسفه طراحی	نامعینی و شکل پذیری عملکرد لرزه ای پل را بهبود می بخشد.	نامعینی و شکل پذیری عملکرد لرزه ای پل را بهبود می بخشد.	نامعینی و شکل پذیری عملکرد لرزه ای پل را بهبود می بخشد.	برای حرکات قوی زمین، طراحی براساس طراحی شکل پذیر انجام می پذیرد.	با طراحی شکل پذیر از شکست ترد جلوگیری شود.
(c)	رویکرد طراحی	زلزله های کوچکتر توسط عملکرد الاستیک سازه و زلزله های بزرگتر توسط شکل پذیری تحمل می شود.(تک سطح طراحی)	زلزله های کوچکتر توسط عملکرد الاستیک سازه و زلزله های بزرگتر توسط شکل پذیری تحمل می شود.(تک سطح طراحی)	پلهای معمولی شبیه ضوابط کالیفرنیا(تک سطح طراحی) شوند. پلهای مهم برای کنترل پذیری کنترل می شوند.(دو سطح طراحی)	پلهای با رفتار پیچیده در زلزله باید برای شکل پذیری کنترل شوند.(دو سطح طراحی)	زلزله های کوچکتر توسط عملکرد الاستیک سازه و زلزله های بزرگتر توسط شکل پذیری تحمل می شود.(تک سطح طراحی)

جدول ۴- تفاوت میان آیین نامه ها-بارگذاری لرزه ای

شماره	نوع ضابطه	آیین نامه های آمریکا			ژاپن	اروپا
		آشتو	کالیفرنیا	ATC-32		
۲.	بارگذاری لرزه ای	طیف برای شتاب $g/0.4$ و بصورت الاستیک می باشد. برای پریودهای بالا بطور تکه ای خطی است.	طیف برای شتابهای $g/0.1$ و $g/0.4$ و بصورت الاستیک می باشد. برای پریودهای بالا بطور تکه ای خطی است.	طیفهای پاسخ جداگانه برای شتاب و جابجایی دارد که شامل منحنیهای نرم و غیر خطی ای است.	طیف به صورت الاستیک و بصورت تکه ای خطی برای پریودهای بالا است.	طیف به نرمالیزه شده الاستیک است و بطور تکه ای خطی بوده که تا فرکانسهای مشخصی را ارائه کرده است.
(a)	تشدید در طیف	بسته به نوع خاک تشدید ۵ تا $6/25$ را دارد.	بسته به نوع خاک و شتاب زلزله تشدید ۲ تا $6/3$ را دارد.	بسته به نوع خاک و شتاب زلزله تشدید ۲ تا $2/67$ را دارد.	بسته به نوع خاک تشدید $1/25$ تا $1/56$ را دارد.	تشدید برابر $2/5$ دارد.
(b)	دوره بازگشت	۴۷۵ سال	نیازی ندارد.	۱۰۰۰ سال	مشخص نشده است.	۴۷۵ سال
(c)	پهنه بندی لرزه ای	چهار ناحیه	چهار ناحیه	چهار ناحیه	سه ناحیه	توسط استانها مشخص شوند.
(d)	ملاحظات اهمیت پل	سه دسته پل، بحرانی، ضروری و دیگر پلها	مشخص نشده است.	دو دسته، معمولی و مهم	دو دسته، کلاس A و B	توسط استانها مشخص شوند.
(e)	طبقه بندی خاک	چهار دسته، بسته به سختی و سرعت موج برشی	چهار دسته، بسته به عمق رسوب تا بستر سنگی و سرعت موج برشی	چهار دسته، بسته به سرعت موج برشی	سه دسته، بسته به پریود غالب خاک محل	سه دسته، بسته به سختی و سرعت موج برشی
(f)	میرایی	۵٪ میرایی بحرانی	۵٪ میرایی بحرانی	۵٪ میرایی بحرانی	۵٪ میرایی بحرانی	۵٪ میرایی بحرانی با ضریب اصلاح میرایی

جدول ۵- تفاوت میان آیین نامه ها-آنالیز مورد استفاده

شماره	نوع ضابطه	آیین نامه های آمریکا			اروپا
		آشتو	کالیفرنیا	ATC-32	
۳.	آنالیز مورد استفاده				
(a)	انتخاب روش	جدول انتخاب روش براساس اهمیت، طول دهانه و هندسه پل	بر اساس پیچیدگی سازه و پیروی آن	جدول انتخاب روش براساس اهمیت، پیچیدگی و ارتفاع پل	بر اساس عملکرد سازه یعنی شکل پذیری، شکل پذیری محدود یا حالت الاستیک
(b)	روش معادل استاتیکی	فقط برای پلهای منظم	برای پلهای با بارگذاری یکنواخت	برای استاتیکی عکس العمل یا روش قاب استاتیکی	فقط برای پلهای منظم
(c)	روش دینامیک الاستیک	فقط برای آنالیز اولیه	آنالیز پاسخ چند مدی بر اساس قاب با جرمهای متمرکز با سطح مقطع کل	آنالیز پاسخ چند مدی بر اساس قاب با جرمهای متمرکز با سطح مقطع کل	آنالیز پاسخ چند مدی بر اساس قاب با جرمهای متمرکز با سطح مقطع کل
(d)	روش استاتیک غیرالاستیک	نیازی نیست.	نیازی نیست.	آنالیز پوش اور با در نظر گرفتن بار مرده و قسمتی از بار زنده	بعضی موارد خاص شرایط آن توضیح داده شده است.
(e)	دینامیک غیر الاستیک	آنالیز تاریخیچه زمانی برای پلهای بحرانی در نواحی ۳ و ۴ لرزه ای	ضابطه ای نیامده است.	مورد خاص بعنوان جایگزین آنالیز پوش اور	بعضی موارد خاص شرایط آن توضیح داده شده است.
(f)	جهت اعمال زلزله	زلزله در سه جهت در نظر گرفته می شود.	زلزله تنها در دو جهت در نظر گرفته می شود.	زلزله در سه جهت در نظر گرفته می شود.	زلزله تنها در دو جهت در نظر گرفته می شود.
(g)	طرح ظرفیت	ارائه شده است.	ارائه شده است.	ارائه شده است.	ارائه شده است.
(h)	عرض نشیمن حداقل	روابطی تامین شده است.	روابطی تامین شده است.	روابطی تامین شده است.	حداقل برابر ۴۰cm، بر اساس جابجایی تعیین می شود.

جدول ۶- تفاوت میان آیین نامه ها-فونداسیون

شماره	نوع ضابطه	آیین نامه های آمریکا			ژاپن	اروپا
		آشتو	کالیفرنیا	ATC-32		
۴.	فونداسیون					
(a)	پی گسترده	طرح بر اساس ظرفیت تماسی نهایی خاک با ضریب کاهش	طرح بر اساس ظرفیت تماسی نهایی خاک ، مقیاسی بلندشدگی در گوشه ها مجاز است.	طرح بر اساس ظرفیت تماسی نهایی خاک ، مقیاسی بلندشدگی در گوشه ها بر اساس نوع پایه مجاز است.	طراحی با در نظر گرفتن اثرات روانگرایی	ضابطه ای ندارد.
(b)	پی شمعی	طرح بر اساس ظرفیت تماسی نهایی خاک با ضریب کاهش	طرح بر اساس ظرفیت فشاری مجاز	طرح بر اساس ظرفیت فشاری مجاز	مشخص نشده است.	ضابطه ای ندارد.
(c)	روانگرایی	بیان نشده است.	بیان نشده است.	رهنمودهایی جهت محاسبه جابجایی جانبی دارد.	ضریب مقاومت روانگرایی محاسبه می شود.	ضابطه ای ندارد.
(d)	بار زنده	تنها در صورتیکه نسبت بار زنده به بار مرده زیاد باشد ، آنرا در نظر می گیرد.	تنها در صورتیکه نسبت بار زنده به بار مرده زیاد باشد ، آنرا در نظر می گیرد	تنها در صورتیکه نسبت بار زنده به بار مرده زیاد باشد ، آنرا در نظر می گیرد	در نظر نمی گیرد.	در نظر نمی گیرد.
(e)	عایق پایه	ضوابط پایه معرفی می شود.	بعنوان مورد خاص در نظر گرفته می شود.	اشاره ای نگردیده است.	بعنوان مورد خاص در فصل مجزایی آمده است.	فصل جداگانه ای اختصاص یافته است.

از مطالعه جداول فوق، تفاوتهای زیر را می توان مشاهده کرد:

- طیف پاسخ : آیین نامه ATC-32 منحنی نرمی را برای زمان تناوبهای بالا ارائه کرده است در حالیکه دیگر آیین نامه ها منحنی های بصورت تکه ای خطی را ارائه کرده اند. همچنین طیف آیین نامه ATC-32 برای نیرو و تغییر مکان متفاوت بوده و آیین نامه ژاپن به معرفی طیف بین صفحه ای به همراه طیف درون صفحه ای می پردازد.
- تقسیم بندی اهمیت : در حالیکه آیین نامه کالیفرنیا هیچ اشاره ای به تقسیم بندی اهمیت پلها ننموده است ، دیگر آیین نامه ها این تقسیم بندی را با اعمال یک ضریب مشخص نموده اند.
- طبقه بندی خاک : آیین نامه کالیفرنیا خاکها را به پنج دسته تقسیم بندی نموده اند و در آیین نامه های ATC-32 و آشتو خاکها به چهار دسته تقسیم بندی شده اند و دیگر آیین نامه ها خاکها را به سه دسته تقسیم نموده اند. این تقسیم بندیها در آیین نامه های آمریکا و اروپا بر اساس سرعت موج برشی در خاک صورت می گیرد در حالیکه در آیین نامه ژاپن ، زمان تناوب غالب مبنای دسته بندی است.
- ترکیب بارها : فقط در آیین نامه اروپا ترکیب بارها معرفی شده است.

- اثرات بارهای زنده : در آیین نامه های آمریکا بنا به شرایط خاصی اثرات این بارها در نظر گرفته می شود ولی در دیگر آیین نامه ها صحبتی از این اثرات به میان نیامده است.
- عرض نشیمن حداقل : در آیین نامه اروپا این عرض بر اساس تغییر مکان ناشی از زلزله بدست می آید، در حالیکه در دیگر آیین نامه ها عباراتی برای این عرض داده شده است.
- فونداسیونها : آیین نامه های آمریکا و ژاپن ضوابطی را برای طراحی فونداسیون ها ارائه کرده اند در حالیکه در آیین نامه اروپا فقط رهنمودهایی آمده است.
- عایق پایه : در آیین نامه اروپا ، ژاپن و کالیفرنیا فصول مجزایی در این رابطه آورده شده است در صورتیکه در بقیه آیین نامه ها به ارائه رهنمودهایی اکتفاء شده است.
- بجز آیین نامه های آمریکا ، بقیه آیین نامه ها فقط به معرفی ضوابط لرزه ای پلها پرداخته اند در صورتیکه در آیین نامه های آمریکا همه ضوابط طراحی پلها شامل ضوابط لرزه ای ارائه شده است.

نتیجه گیری

از بررسی و مقایسه آیین نامه های فوق الذکر نتایج زیر بدست می آید :

- در حالیکه فلسفه های طراحی استفاده شده یکسان است ، تفاوتهایی در شاخصهای عملکردی این آیین نامه ها وجود دارد.
- طراحی بر پایه عملکرد در اغلب آیین نامه ها مشاهده می شود.
- همه آیین نامه ها از طراحی ظرفیت استفاده می کنند.
- آیین نامه های اروپا و ژاپن اثرات هیدرودینامیکی در هنگام زلزله را در نظر می گیرند در صورتیکه بقیه آیین نامه ها در این زمینه مسکوت هستند.

با مشاهده گستردگی ضوابط فوق اینگونه نیاز می شود که باید برنامه های جامعی جهت تبدیل نشریه بارگذاری و طرح لرزه ای ایران (نشریه ۲۳۵) به آیین نامه لرزه ای معتبر و قابل استفاده و ارجاع حتی در دیگر کشورها تدوین شود. مقایسه فوق در انتخاب آیین نامه مناسب برای طرح لرزه ای پلها نیز می تواند موثر باشد.

مراجع :

1. ATC, Improved Seismic Design Criteria for California Bridges, 1996,ATC-32 ,CA.
2. ATC, Seismic Design Criteria for Bridges and Other Highway Structure, 2004,ATC-18 ,California.
3. Recommended LRFD Guidelines for Siesmic Design of Highway Bridges,2005.
4. JSCE,Specification for Highway Bridges (Part V Seismic Design),1996,Tokyo,Japan
5. EUROCODE,Design Provision for Earthquake Resistance of Structures (Part 2 Bridges),1996,Euro-code 8,Europe.