



مشخصات طراحی لرزه‌ای پل در ایالات متحده‌ی آمریکا

روی ایمبسن^۱ (شرکت مشاوره‌ی ایمبسن)^۲

۱.۷	پیش‌زمینه
۳.۷	مقدمه
۱.۲.۷	اهداف تدوین و ویژگی‌های کلیدی راهنمای لرزه‌ای
۲.۲.۷	خطر جنبش زمین
۳.۲.۷	فلوچارت‌ها
۳.۷	الزامات عمومی
۱.۳.۷	کاربست‌پذیری راهنمای لرزه‌ای
۲.۳.۷	ضوابط عملکرد
۳.۳.۷	خطر لرزش ناشی از جنبش زمین
۴.۳.۷	دسته‌های طراحی لرزه‌ای
۵.۳.۷	الزامات طراحی لرزه‌ای برای A، B، C و D SDC
۷، ۳، ۶	تحلیل تقاضا (مواد ۳-۴ و ۴-۴)
۴.۷	الزامات تحلیل و طراحی
۱.۴.۷	تعیین تقاضای لرزه‌ای (بخش‌های ۱-۴ تا ۸-۴)
۲.۴.۷	تعیین ظرفیت (بخش‌های ۹-۴ تا ۱۲-۴)

^۱ Roy A. Imbsen

^۲ Imbsen Consulting

۵.۷	مدل‌ها و روش‌های تحلیلی
۱.۵.۷	کلیات
۲.۵.۷	کوله‌ها
۳.۵.۷	فونداسیون‌ها
۴.۵.۷	روش‌های تحلیلی
۵.۵.۷	مدل‌سازی ریاضی
۶.۵.۷	خصوصیات مؤثر مقطع
۶.۷	طراحی فونداسیون و کوله
۱.۶.۷	کلیات
۲.۶.۷	بررسی فونداسیون
۷.۷	اجزای سازه‌ای فولادی
۱.۷.۷	کلیات
۲.۷.۷	ضوابط عملکرد
۸.۷	اجزای ساخته‌شده از بتن آرمه
۱.۸.۷	کلیات
۲.۸.۷	دسته‌ی طراحی لرزه‌ای A و پل‌های تک‌دهانه
۳.۸.۷	دسته‌های طراحی لرزه‌ای B، C و D
۴.۸.۷	خواص و کاربردها
۹.۷	خلاصه
	منابع
	مطالعه‌ی بیشتر
	وب‌سایت‌های مرتبط

۱.۷ پیش‌زمینه

طراحی لرزه‌ای امروزی پل‌ها در ایالات متحده‌ی آمریکا در اداره‌ی حمل و نقل کالیفرنیا (کالترانس) و بلافاصله پس از زلزله‌ی سان‌فرناندو در ۱۱ فوریه‌ی سال ۱۹۷۱ میلادی آغاز شد. در ادامه، در سال ۱۹۷۳ میلادی، شاهد پیاده‌سازی نخستین ضوابط طراحی لرزه‌ای^۱ در شیوه‌ی طراحی کالترانس بودیم (Imbsen and Gates, 1973). این ضوابط طراحی لرزه‌ای ضوابطی تجویزی بودند که بر مبنای رویکرد طراحی شکل‌پذیر با ضرایب شکل‌پذیری شکل گرفته بودند و باعث می‌شدند پل‌ها، با تحمل آسیب جزئی، از فروریزش نجات یابند. ایجاد امکان آسیب‌دیدگی، از طریق شکل‌دهی مفاصل پلاستیک در ستون‌ها، دستیابی به سطح عملکرد «ایمنی مادام‌العمر» را برای پل‌ها ممکن می‌کند. این رویکرد طراحی شکل‌پذیر جایگزین روش پرهزینه و دشوار طراحی الاستیک انتخاب شد و در سال ۱۹۷۵، به طور رسمی از سوی AASHTO (1995) مورد پذیرش قرار گرفت و تغییرات جزئی در آن اعمال شد تا امکان استفاده از آن در همه‌ی مناطق آمریکا فراهم شود. این ضوابط، تا سال ۱۹۹۰ میلادی، در AASHTO پابرجا بودند (AASHTO, 1990). در آن سال، دستورالعمل‌های طراحی لرزه‌ای ATC-6 برای پل‌های بزرگ‌راهی (ATC, 1981) جایگزین این ضوابط شدند و به طور رسمی و با عنوان «بخش 1-A» مورد پذیرش AASHTO قرار گرفتند. همچنین، در سال ۱۹۸۳ میلادی، ATC-6 به عنوان مشخصات راهنما توسط AASHTO پذیرفته شد (AASHTO, 1983) و بعدها، با نام «بخش 1-A» شناخته شد.

پس از وقوع چندین زلزله‌ی خسارت‌بار در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ میلادی و با کامل شدن پژوهش‌های جدید این حوزه، لزوم اصلاح شیوه‌ی طراحی لرزه‌ای پل‌ها تأیید شد. در سال ۲۰۰۳ میلادی، اقدامات پژوهشی به اوج خود رسید و کمیته‌ی AASHTO T-3 را بر آن داشت تا اقداماتی را برای تدوین مشخصات راهنمای AASHTO برای طراحی لرزه‌ای پل بر اساس ضرایب بار و مقاومت انجام دهد (Imbsen, 2007a and 2007b). این اقدامات موارد زیر را در بر می‌گرفتند:

¹ Seismic Design Criteria (SDC)

۴ راهنمای مهندسی پل

انتشار نسخه‌ی اصلاح‌شده‌س ضوابط طراحی لرزه‌ای ATC-32 برای پل‌های کالیفرنیا (ATC, 1996)

تدوین ضوابط طراحی لرزه‌ای موقت توسط کالترانس (Caltrans, 1999)
تدوین و پیاده‌سازی مشخصات طراحی لرزه‌ای کارولینای جنوبی (SCDOTT, 2001)
انتشار دستورالعمل‌های توصیه‌شده‌ی MCEER/ATC-49 (NCHRP 12-49) (MCEER, 2004)

بدین ترتیب، در سال ۲۰۰۵ میلادی، با پشتیبانی کمیته‌ی فنی طراحی لرزه‌ای T-3 AASHTO، اقداماتی برای شناسایی و تحکیم به‌روشنی مبتنی بر این چهار سند و ارائه‌ی آن‌ها در قالب سند واحد و جدید مشخصات طراحی لرزه‌ای آغاز شد و در سال ۲۰۰۷ میلادی، به ثمر نشست (I & A, 2005 and 2006; Imbsen, 2007a and 2007b). در ادامه، این سند، برای بازنگری فنی و اخذ تأییدیه به کمیته‌ی AASHTO T-3 تحویل داده شد. سند نهایی، با عنوان «مشخصات راهنمای AASHTO برای طراحی لرزه‌ای پل به روش ضرایب بار و مقاومت»، پذیرفته و توسط AASHTO منتشر شد. ویراست نخست این سند در سال ۲۰۰۹ میلادی و ویراست دوم آن نیز در سال ۲۰۱۱ میلادی منتشر شد (AASHTO, 2009 and 2011). در این فصل، از این سند با نام *راهنمای لرزه‌ای* یاد خواهد شد (AASHTO, 2011). به منظور کمک به خوانندگان، بخش‌های بعدی این فصل عمدتاً منطبق با بخش‌های *راهنمای لرزه‌ای* تدوین شده‌اند. فصول و بخش‌هایی که شامل ارجاعاتی به *راهنمای لرزه‌ای* هستند با فرمت ایتالیک نمایش داده می‌شوند.

با تصویب *راهنمای لرزه‌ای*، با دو روش‌شناسی متمایز برای طراحی لرزه‌ای پل‌ها مواجه هستیم. یکی از روش‌ها روش سنتی مبتنی بر نیرو (FBA) است که در مشخصات مبتنی بر ضرایب بار و مقاومت پل AASHTO به کار گرفته شده است. دومین روش روشی مبتنی بر جابجایی (DBA) است که در *راهنمای لرزه‌ای* معرفی شده است. هر دو روش فوق با هدف دستیابی به طرحی شکل‌پذیر با سطح عملکرد «ایمنی مادام‌العمر» برای جنبش زمین با دوره‌ی بازگشت ۹۷۵ سال تدوین شده‌اند.

روش مبتنی بر نیرو، با ضرایب شکل‌پذیری توصیه‌شده‌ی R، که برای تحمل آسیب تدوین شده است، عدم‌قطعیت‌های بسیاری را در بر می‌گیرد و پایایی کمتری نسبت به

فصل ۷ مشخصات طراحی لرزه‌ای ۵

روش مبتنی بر جابجایی مد نظر در *راهنمای لرزه‌ای* دارد. با وجود این، روش مبتنی بر نیرو برای پایین‌ترین ناحیه‌ی لرزه‌ای قابل قبول در نظر گرفته می‌شود زیرا عدم قطعیت‌ها در این ناحیه‌ی لرزه‌ای پایین‌تر کاهش می‌یابند. اگرچه ضرایب شکل‌پذیری در *راهنمای لرزه‌ای* حذف شده‌اند و بدین ترتیب، سطح عدم قطعیت تا حد چشمگیری کاهش یافته است، شاهد تغییر سطح عملکرد «ایمنی مادام‌العمر» نبوده‌ایم. البته، در این راهنما، سطح خطر جدیدی تعریف شده است که احتمال تجاوز آن از ۷۵ سال به ۷/۵٪ رسیده (یعنی دوره‌ی بازگشت ۹۷۵ ساله) و جایگزین احتمال ۱۰ درصدی تجاوز از ۵۰ سال (یعنی دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ ساله) شده است. این مسئله در (شکل ۱.۷) نمایش داده شده است. این رویکرد جدید، که استفاده از ضریب «R» را حذف و پاسخ شکل‌پذیر را ممکن می‌کند، یا از روش جابجایی ضمنی ساده‌سازی شده بهره می‌برد و یا متکی بر ارزیابی قدرتمندتر پوش‌آور ظرفیت جابجایی است. در این رویکرد نیز، مانند روش پهنه‌ی لرزه‌ای مورد استفاده در مشخصات طراحی پل به روش ضرایب بار و مقاومت مد نظر AASHTO، تصمیم‌گیری درباره‌ی روش منتخب بر مبنای راهنمای طراحی لرزه‌ای صورت می‌گیرد. هم *راهنمای لرزه‌ای* و هم روش‌های طراحی مشخصات پل به روش ضرایب بار و مقاومت شامل تعیین تجویزی جزئیات برای مناطق مفصلی پلاستیک و محافظت از ظرفیت عناصری است که نباید متحمل آسیب شوند. در تدوین الزامات طراحی و جزئیات مطرح در *راهنمای لرزه‌ای* از میزان قابل ملاحظه‌ای از آزمون‌های آزمایشگاهی و درس‌های فراگرفته‌شده از زلزله‌های گذشته بهره گرفته شده است و بدین ترتیب، طراحی لرزه‌ای پل‌ها بهبودی چشمگیر یافته است.

اگرچه از دیرباز لزوم انطباق شیوه‌ی طراحی پل با الزامات قید شده در آیین‌نامه‌ها مطرح بوده است، تا تأسیساتی ساخته شود که فرونریزند، خسارت‌های به بار آمده پس از زلزله همیشه پرهزینه و مختل‌کننده بوده‌اند و حتی، در برخی موارد، باعث شده‌اند پل‌ها به طور کامل تخریب و با پل‌های جدید جایگزین شوند. در گذشته، مالکان و کاربران تأسیسات نگران زیان‌های اقتصادی ناشی از خسارت و اختلال ناشی از عدم استفاده بودند. چنانکه در زلزله‌های گذشته شاهد بوده‌ایم، اختلال در خدمات‌رسانی سیستم جاده‌ای و تقاضا برای خدمات تعمیراتی ممکن است تأثیراتی قابل توجه بر رفاه اقتصادی و اجتماعی جامعه داشته باشد.