به نام آن که جان را فکرت آموخت

سری کتاب‌های راهنمای مهندسی پل

طراحی لرزه‌ای

(جلد۲)

www.ketab.ir

مترجمین

دکتر شهریار طاوسی تفرشی

استادیار دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکز

مهندس محمدحسین جمشیدی

کارشناس ارشد سازه دانشگاه باوهاوس وایمار- آلمان

عنوان و نام پدیدآور : طراحی لرزه‌ای / مولفین [صحیح: ویراستاران] وای‌فا چن،لین دان؛ مترجمین شهریار طاوسی‌تفرشی،محمدحسین جمشیدی.
مشخصات نشر : تهران: دانش بنیاد،۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری : ۲ج.
فروست : سری کتاب‌های راهنمای مهندسی پل.
شابک : دوره :978-622-5641-18-1؛ ج.۱ :978-622-5641-24-2؛ ج.۲:978-622-5641-19-8
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
یادداشت : کتاب حاضر ترجمه جلد سوم کتاب "Bridge engineering handboo.2nd ed,c2014" است.
یادداشت : ج.۱(چاپ اول:۱۴۰۲)(فیپا).
موضوع : پل‌سازی
موضوع : Bridges -- Design and construction
موضوع : پل‌ها — نگهداری و تعمیر
موضوع : Bridges --Maintenance and repair
شناسه افزوده : چن، وای-فا، ۱۹۳۶ - م.، ویراستار
شناسه افزوده : Chen, Wai-Fah
شناسه افزوده : دوآن، لیان، ویراستار
شناسه افزوده : Duan, Lian
شناسه افزوده : طاووسی تفرشی، شهریار، ۱۳۴۴- مترجم
شناسه افزوده : جمشیدی، محمدحسین، ۱۳۶۷- مترجم
رده بندی کنگره : TG۳۱۵
رده بندی دیویی : ۶۲۴/۲
شماره کتابشناسی ملی : ۹۲۷۸۷۴۵
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا

www.ketab.ir

طراحی لرزه‌ای

مترجمین : شهریار طاوسی‌تفرشی - محمدحسین جمشیدی
نوبت چاپ : دوم (اول ناشر)- ۱۴۰۲
تیراژ : ۲۰۰
شابک : ۸-۱۹-۵۶۴۱-۶۲۲-۹۷۸

دفتر انتشارات : تهران - خیابان انقلاب - خیابان اردیبهشت - بین‌لبافی‌نژاد و جمهوری - ساختمان ۱۰
تلفن: ۶۶۴۸۱۰۹۶ - ۶۶۴۸۲۲۲۱
فروشگاه یزد: میدان آزادی (باغ ملی) - ابتدای خیابان فرخی - جنب مجتمع ستاره
تلفن: ۳۶۲۲۷۴۷۵-۳۶۲۲۶۷۷۱-۳۶۲۲۶۷۷۲ - ۰۳۵
ایمیل و وب‌سایت: www.fadakbook.ir – pub.dabon@gmail.com

کلیهٔ حقوق و حق چاپ متن و عنوان کتاب که به ثبت رسیده است؛ مطابق با قانون حقوق مولفان و مصنفان مصوب ۱۳۴۸ محفوظ و متعلق به انتشارات دانش‌بنیاد می‌باشد. هرگونه برداشت،تکثیر،کپی‌برداری به هرشکل (چاپ، فتوکپی، انتشار الکترونیکی) بدون اجازه کتبی از انتشارات دانش بنیاد ممنوع بوده و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار خواهند گرفت.
معاونت حقوقی
انتشارات دانش بنیاد

پیشگفتار

هم‌اکنون، طراحی لرزه‌ای پل‌ها در ایالات متحده در حال گذار از روش مبتنی بر نیرو به روش مبتنی بر جابه‌جایی است. توجه به روش مبتنی بر نیرو در کالترانس، بلافاصله پس از زلزله‌ی سان‌فرناندو در ۱۱ فوریه‌ی سال ۱۹۷۱ میلادی، آغاز شد. در سال ۱۹۷۳ میلادی، نخستین ضابطه طراحی لرزه‌ای در شیوه‌ی طراحی پل‌ها پیاده‌سازی شد. این ضابطه مجموعه‌ای از ضوابط تجویزی طراحی بر اساس رویکرد طراحی شکل‌پذیر، با استفاده از مفاصل پلاستیک بود که به سازه امکان می‌داد دچار آسیب شود، در عین حال، مانع از فرو ریختن آن می‌شد. امکان آسیب دیدن با تغییر شکل مفاصل پلاستیک در ستون‌ها سطح عملکرد «ایمنی مادام‌العمر» را با هزینه‌ی اولیه‌ی ساخت حداقلی فراهم می‌سازد؛ این روش جایگزینی برای ساخت پلی بود که با هزینه‌ی غیر عملی بالاتر و بدون تحمل آسیب الاستیک باقی می‌ماند. در ضوابط جدید، این موارد مد نظر قرار گرفته بودند: (۱) خطر لرزه‌ای، (۲) پاسخ موضعی زمین، (۳) تحلیل دینامیک سازه‌ای و (۴) کاهش شکل‌پذیری برای طرح که همچنان چهار موضوع اصلی ضوابط مورد توجه در جدیدترین مشخصات طراحی هستند.

این رویکرد، در سال ۱۹۷۵، به طور رسمی مورد پذیرش AASHTO قرار گرفت (AASHTO, 1975) و به منظور قابل استفاده شدن در تمامی مناطق آمریکا اصلاحاتی جزئی در آن اعمال شد. این اصلاحات مشتمل بر نقشه‌های USGS بودند که در آن زمان برای PGA در کل آمریکا در اختیار بودند. این ضوابط تا سال ۱۹۹۰ میلادی لازم‌الاجرا باقی ماندند (AASHTO, 1990) و در آن سال دستورالعمل‌های طراحی لرزه‌ای پل‌های بزرگراهی ATC-6 (ATC, 1981) جایگزین آن‌ها شد و از سوی AASHTO تحت عنوان بخش 1-A پذیرفته شد (AASHTO, 1990 and 1992). با وجود پیشرفت‌های بخش 1-A، روش طراحی شکل‌پذیر با عوامل شکل‌پذیری توصیه‌شده برای ایجاد امکان آسیب دیدن سازه باقی ماند. این روش عدم قطعیت‌های متعددی را در بر می‌گرفت و کمتر از روش مبتنی بر جابجایی مورد استفاده در مشخصات راهنمای اخیراً تدوین‌شده‌ی AASHTO برای طراحی لرزه‌ای پل‌های بزرگ‌راهی به روش ضرایب بار و مقاومت (AASHTO, 2011) قابل اتکا بود. اگرچه استفاده از ضرایب شکل‌پذیری حذف شده است، سطح عدم قطعیت نیز به طور قابل توجه کاهش یافته و سطح عملکرد «ایمنی مادام‌العمر» نیز تغییری نیافته است. علاوه بر این، سطح خطر جدید احتمال ۷/۵ درصدی تجاوز از آن سطح عملکرد در ۷۵ سال (یعنی دوره‌ی بازگشت ۹۷۵ ساله) معرفی شد تا جایگزین احتمال ۱۰ درصدی تجاوز طی ۵۰ سال (یعنی دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ ساله) شود. اگرچه با پذیرش هر یک از این ضوابط بهبودهایی ایجاد شده است، چهار موضوع اصلی ثابت

www.ketab.ir

باقی ماندند، چون این بهبودها به شکل مجزا در داخل هر یک از این زمینه‌های موضوعی اصلی حاصل شد.

اگرچه در طراحی لرزه‌ای پل‌ها، با شیوه‌ی مرسوم روبه‌رو بوده‌ایم که از دیرباز با الزامات آیین‌نامه‌ای برای رسیدن به تأسیساتی سازگار بوده است که دچار فروریزش نشوند، آسیب پس از زلزله‌ی حاصل پرهزینه و مخرب بوده است و در برخی از موارد، پل‌ها به طور کامل تخریب و با پل‌های جدید جایگزین شده‌اند. مالکان و کاربران تأسیسات نگران زیان‌های اقتصادی ناشی از آسیب و اختلال در عملکرد ناشی از این بلااستفاده شدن هستند. همانطور که در زلزله‌های پیشین مشاهده شده است، اختلال در خدمات‌رسانی سیستم جاده‌ای و تقاضای خدمات تعمیری ممکن است تأثیرات قابل توجهی بر رفاه اقتصادی و اجتماعی جامعه داشته باشد. به عنوان مثال، داده‌های زیان گزارش‌شده توسط دولت در جریان زلزله‌های کوبه و نورث‌ریج نشان می‌دهند که زیان‌های اقتصادی کلی، شامل از دست رفتن قابلیت استفاده و اختلال، ۱۰ برابر بیشتر از هزینه‌های مستقیم ترمیمی سازه‌های آسیب‌دیده است (Imbsen and Mokha).

ایزوله‌سازی لرزه‌ای، در ابتدا، برای دست‌یابی به قابلیت عملکرد پیوسته برای پل‌ها، از طریق مقاوم‌سازی پل‌ها در مسیرهای مهم حمل و نقل، به کار رفت. با وجود این، به‌روزرسانی‌های اخیر دستورالعمل‌های طراحی پل AASHTO LRFD (AASHTO, 2009) و *راهنمای لرزه‌ای* این مزایا را به رسمیت می‌شناسند و استفاده از ایزوله‌سازی لرزه‌ای را به عنوان راهبرد طراحی جایگزین اصلی برای پل‌های جدید ترویج می‌دهند. برخی از این به‌روزرسانی‌ها عبارتند از: (۱) افزودن‌بندی در مشخصات طراحی پل AASHTO LRFD (*ماده‌ی ۳-۳-۱*) به منظور جایگزین‌سازی استفاده از «دستگاه‌های انتشاردهنده‌ی انرژی» به جای «ERS شکل‌پذیر متداول» *راهنمای لرزه‌ای*، (۲) افزودن ایزوله‌سازی لرزه‌ای به عنوان راهبرد طراحی (*ماده‌ی ۱-۱*) در *راهنمای لرزه‌ای* و (۳) ویرایش سوم به‌روزرسانی‌شده‌ی مشخصات راهنمای AASHTO برای طراحی ایزوله‌سازی لرزه‌ای (AASHTO, 2010) با خطر طراحی لرزه‌ای به‌روزرسانی‌شده‌ی تعریف‌شده در مشخصات AASHTO همراه.

با توجه به تغییرات اخیر در مشخصات AASHTO و پیشرفت‌های فناوری ایزوله‌سازی لرزه‌ای، اکنون امکان طراحی برای دست‌یابی به قابلیت عملکرد پیوسته وجود دارد. از منظر تاریخی، پل‌های شاهراهی حیاتی اصلی به منظور دست‌یابی به قابلیت عملکرد پیوسته مقاوم‌سازی شده‌اند و در مقایسه با هزینه‌ی صرف‌شده در مقاوم‌سازی‌های متداول برای ایمنی مادام‌العمر، که قابلیت عملکرد پیوسته ایجاد نمی‌کنند، صرفه‌جویی ۳۰ درصدی ایجاد کرده‌اند. هم‌چنین، استفاده از راهبرد طراحی ایزوله‌سازی برای دست‌یابی به قابلیت عملکرد پیوسته‌ی پل‌های جدید باعث

www.ketab.ir

صرفه‌جویی‌های هزینه‌ای شده است. تصمیماتی که طی ۴۰ سال گذشته در کالترانس اتخاذ شده‌اند و هدفشان استفاده از روش طراحی شکل‌پذیر به منظور دست‌یابی به سطح عملکرد «ایمنی مادام‌العمر» همراه با کاهش هزینه‌های اولیه‌ی ساخت است باید در پرتو درس‌های فراگرفته‌شده از زلزله‌های اخیر و توسعه‌ی فناوری‌های ایزوله‌سازی لرزه‌ای مجدداً ارزیابی شوند. سطح عملکرد ایمنی مادام‌العمر در شرایط فناوری امروزی کفایت نمی‌کند و بهتر است استاندارد را به سطح قابلیت عملکرد پیوسته ارتقا دهیم.

در فصل ۸ ، مثالی از طراحی لرزه‌ای پل را به شکل مختصر بیان کردیم. در طراحی این پل از هر دو سند مشخصات طراحی پل AASHTO (AASHTO, 2012) و مشخصات راهنما برای طراحی لرزه‌ای پل LRFD (AASHTO, 2011) استفاده شد. تأکید مباحث بر طراحی ستون و فونداسیون پل بود. نتایج طراحی نشان می‌دهند که در شرایط یکسان ورودی زلزله، اگر از شیوه‌ی طراحی «مبتنی بر نیرو» استفاده شود، میلگردهای اصلی مورد نیاز ستون مجموعاً ۹۲ میلگرد ۱۴ با نسبت فولاد ٪۴/۱۲ خواهد بود (که بالاتر از حد بالای ٪۴/۰ است)؛ در حالی که روش طراحی «مبتنی بر جابجایی» تنها به ۴۸ میلگرد ۱۴ با نسبت فولاد ٪۲/۱۵ نیاز دارد. دلیل این تفاوت فاحش در آرماتورگذاری «ضریب اصلاح پاسخ (ضریب R)» است. در روش طراحی «مبتنی بر نیرو»، ضریب R ثابت است و با شدت لرزش یا شکل‌پذیری ستون ارتباطی ندارد. برای پل مثال ذکر شده، زلزله‌ی ورودی دارای PGA ۰/۷ و شتاب اوج g ۱/۷۵ است. شکل‌پذیری ناشی از جابجایی ستون بیش از ۴/۰ است. ضریب R برای این پل غیراصلی غیرحیاتی با خرک تک‌ستونه تنها ۳/۰ است، اگرچه این پل در پهنه‌ی عملکرد لرزه‌ای ۴ قرار گرفته است. طراحی فونداسیون بر مبنای قاعده‌ی «طراحی ظرفیتی» انجام می‌شود و بنابراین، روش طراحی «مبتنی بر نیرو» به اندازه‌ی ft ۷ × ft ۳۵ × ft ۳۵ پی با مجموعاً ۸۱ شمع بتنی متحرک نیاز دارد (ظرفیت ۷۰ تن)؛ این در حالی است که روش طراحی «مبتنی بر جابه‌جایی» به اندازه‌ی ft ۶ × ft ۲۷ × ft ۲۷ پی و مجموعاً ۴۹ شمع بتنی متحرک نیاز خواهد داشت. می‌توان نتیجه گرفت که در روش طراحی «مبتنی بر نیرو»، «ضریب R» باید بر اساس پهنه‌ی عملکرد لرزه‌ای یا شکل‌پذیری ستون تعیین شود، در غیر این‌صورت، این روش برای طراحی لرزه‌ای پل در مناطق شدیداً لرزه‌خیز بیش از اندازه محافظه‌کارانه خواهد بود.

در فصل ۱۰، رفتار لرزه‌ای و طراحی پایه‌های جدارنازک فولادی و پایه‌های CFT تشریح شد. ابتدا، به آسیب‌های وارد بر پایه‌های جدارنازک فولادی توخالی، که طی زلزله‌ی ۱۹۹۵ کوبه مشاهده شدند، پرداختیم. سپس، مشخصات طراحی لرزه‌ای کنونی پس از زلزله‌ی کوبه تشریح شد. در نهایت، برخی از دستاوردهای تحقیقاتی اخیر ذکر شدند. این دستاوردها با ابداع شیوه‌های طراحی لرزه‌ای آتی ارتباط

www.ketab.ir

دارند. در این شیوه‌ها، از مدل‌های اجزای محدود پیشرفته برای بررسی مستقیم عملکرد پل‌ها تحت ترکیب اجزای چندجهته‌ی واقع‌بینانه‌ی جنبش‌های زمین در زلزله استفاده می‌شود. در میان دستاوردهای تحقیقاتی اخیر، سه دستاورد مهم معرفی می‌شود. یکی از آن‌ها مدل‌های اجزای محدود پیشرفته برای پایه‌های جدارنازک فولادی و پایه‌های CFT تحت نیروهای لرزه‌ای دوسویه‌ی افقی است. دستاورد دیگر ساز و کار کمانش تاب منحصربه‌فرد پایه‌های CFT است که نقشی مهم در ارتقای مقاومت و شکل‌پذیری آن‌ها ایفا می‌کند. این ساز و کار به تازگی، بر اساس مدل اجزای محدود پیشرفته، آزمون بارگذاری دوره‌ای دوسویه و آزمون میز لرزان، تدوین شده است. دستاورد سوم روش تأیید ایمنی مبتنی برمقاومت برای پایه‌های جدارنازک فولادی توخالی تحت شتاب‌های لرزه‌ای دوسویه‌ی افقی است. این در حالی است که روش تأیید ایمنی برای پایه‌های CFT، به دلیل در دست انجام بودن تحقیقات مرتبط، در این بخش ذکر نشد.

پایه‌های CFT عموماً از نظر عملکردهای لرزه‌ای، مانند ایمنی و قابلیت سرویس‌دهی پس از زلزله، بر پایه‌های جدارنازک فولادی توخالی برتری دارند. با وجود این، مقاومت بهبودیافته‌ی پایه‌های CFT گاهی اوقات موجب شکست در ستون‌ها، پیش از رسیدن پایه‌ها به مقاومت و شکل‌پذیری نهایی خود می‌شود. بنابراین، نیاز تحقیقاتی آتی مربوط به پایه‌گذاری روش تأیید منطقی یا جزئیات سازه‌ای برای جلوگیری از شکست فلز است. بدین منظور، انتظار می‌رود مدل‌های اجزای محدود پیشرفته‌ی ذکرشده اطلاعات سودمندی را درباره‌ی تراکم تنش و کرنش موضعی، که باعث بروز شکست‌ها می‌شود، ارائه دهد.

در طول زلزله‌ی ۲۰۱۱ توهوکو، چندین پل بزرگراهی مرتفع، که بر پایه‌های جدارنازک فولادی استوار بودند، در حوزه‌ی سندایی میاگی، در معرض جنبش‌های شدید زمین قرار گرفتند. این پایه‌ها بر مبنای مشخصات طراحی لرزه‌ای تدوین‌شده پس از زلزله‌ی کوبه طراحی شده بودند (Japan road Association, 1996). خوشبختانه، پایه‌های فولادی آسیبی ندیدند. البته، برخی از ضربه‌گیرهای لاستیکی لایه‌لایه متحمل آسیب‌هایی شدید شده بودند. پس از زلزله‌ی کوبه، استفاده از این ضربه‌گیرها رواج یافت. پیش از زلزله‌ی توهوکو، هرگز آسیب جدی به ضربه‌گیرهای لاستیکی وارد نشده بود، اگرچه پس از زلزله‌ی کوبه چندین زلزله‌ی بزرگ در ژاپن رخ داده بود. در طراحی لرزه‌ای کنونی، ضربه‌گیرهای لاستیکی به گونه‌ای طراحی نمی‌شوند که پیش از خمیری شدن پایه‌ها دچار آسیب شوند. بنابراین، شکست ضربه‌گیرهای لاستیکی بر خلاف سناریوی طراحی لرزه‌ای کنونی است. علل این شکست باید به طور جامع بررسی شوند و بنا بر ضرورت، در طراحی ضربه‌گیرهای لاستیکی انعکاس یابند.

www.ketab.ir

طراحی لرزه‌ای پل‌ها پیچیده و چالش‌برانگیز است و نیاز به کار تیمی چندرشته‌ای دارد. بـه طـور کلـی، پل‌ها را بهتر از زلزله‌ها می‌شناسیم و اطلاعاتمـان دربـاره‌ی سـازه‌هـا بیشـتر از اطلاعاتمـان دربـاره‌ی خاک‌ها است. کمترین میزان آگاهی به حیاتی‌ترین آیتم، یعنی جنبش ورودی زمـین مـورد اسـتفاده در طراحی‌ها، اختصاص دارد. این مسـئله واقعیتـی بنیـادین اسـت. تصـدیق محـدودیت‌هـای موجـود در دانشمان به ما کمک می‌کند قضاوت‌های مهندسی مطلوبی داشته باشیم. آخرین آزمـون نهـایی بـرای ارزیابی طراحی لرزه‌ای بی‌تردید در حین زلزله انجام می‌شود. اشـتباه‌هـای صـورت‌گرفتـه در طراحـی و احداث سازه، در نهایت و به طور پیوسته، به آسیب‌ها و شکست‌های ناشـی از زلزلـه خواهـد انجامیـد و جنبش‌های ورودی ثبت‌شده‌ی زمین در تکیه‌گاه‌های پل و تاریخچه‌ی پاسخ اجزای گوناگون پـل طـی زلزله‌های شدید فاقد ارزش خواهد بود. لذا، تلفیق تجهیزات و دستگاه‌های جدید در طـرح‌هـای نـوین و طرح‌های مقاوم‌سازی ضروری است. هر زمان که امکان‌پذیر باشد، مهندسان پل‌سازی باید مالکان پـل را مجاب به این سرمایه‌گذاری‌های باارزش کنند.

دکتر شهریار طاوسی تفرشی - مهندس محمدحسین جمشیدی

www.ketab.ir

فهرست مطالب

فصل ۷ مشخصات طراحی لرزه‌ای پل در ایالات متحده‌ی آمریکا ۱

۱.۷ پیش‌زمینه ۳
۲.۷ مقدمه ۷
۱.۲.۷ اهداف تدوین و ویژگی‌های کلیدی راهنمای لرزه‌ای ۷
۲.۲.۷ خطر جنبش زمین ۹
۳.۲.۷ فلوچارت‌ها ۹
۳.۷ الزامات عمومی ۱۰
۱.۳.۷ کاربست‌پذیری راهنمای لرزه‌ای ۱۰
۲.۳.۷ ضوابط عملکرد ۱۵
۳.۳.۷ خطر لرزش ناشی از جنبش زمین ۱۵
۴.۳.۷ دسته‌های طراحی لرزه‌ای ۱۹
۵.۳.۷ الزامات طراحی لرزه‌ای برای A SDC A، B، C و D ۲۲
۶.۳.۷ تحلیل تقاضا (مواد ۳-۴ و ۴-۴) ۲۶
۴.۷ الزامات طراحی و تحلیل ۲۹
۱.۴.۷ تعیین تقاضای لرزه‌ای (بخش‌های ۱-۴ تا ۸-۴) ۲۹
۲.۴.۷ تعیین ظرفیت (بخش‌های ۹-۴ تا ۱۲-۴) ۳۰
۵.۷ مدل‌ها و روش‌های تحلیلی ۳۹
۱.۵.۷ ۳۹
۲.۵.۷ کوله‌ها ۴۰
۳.۵.۷ فونداسیون‌ها ۴۱
۴.۵.۷ روش‌های تحلیلی ۴۲
۵.۵.۷ مدل‌سازی ریاضی ۴۳
۷.۵.۷ خصوصیات مؤثر مقطع ۴۳

www.ketab.ir

۶.۷ طراحی فونداسیون و کوله ۴۴
۱.۶.۷ کلیات ۴۴
۲.۶.۷ بررسی فونداسیون ۴۴
۷.۷ اجزای سازه‌ای فولادی ۴۶
۱.۷.۷ کلیات ۴۶
۲.۷.۷ ضوابط عملکرد ۴۸
۸.۷ اجزای ساخته‌شده از بتن آرمه ۵۲
۱.۸.۷ کلیات ۵۲
۲.۸.۷ دسته‌ی طراحی لرزه‌ای A و پل‌های تک‌دهانه ۵۳
۳.۸.۷ دسته‌های طراحی لرزه‌ای B، C و D ۵۵
۴.۸.۷ خواص و کاربردها ۵۶
۹.۷ خلاصه ۶۸

فصل ۸ طراحی لرزه‌ای پل‌های بتنی ۷۱

۱.۸ مقدمه ۷۳
۲.۸ مشخصات طراحی لرزه‌ای پل ۷۳
۲.۱.۸ مشخصات طراحی پل به روش ضرایب بار و مقاومت، ویرایش ۲۰۱۲ (LRFD BDS) ۷۳
۲.۲.۸ مشخصات راهنمای AASHTO برای طراحی لرزه‌ای پل به روش ضرایب بار و مقاومت، ویرایش دوم (LRFD، SBD) ۷۳
۳.۸ تشریح مثالی از یک پل ۷۴
۱.۳.۸ پیکربندی پل ۷۴
۲.۳.۸ اندازه و آرماتورگذاری عضو سازه‌ای پل ۷۴
۴.۸ طراحی لرزه‌ای پل بر اساس LRFD BDS ۷۸
۱.۴.۸ بررسی نظم پل ۷۸
۲.۴.۸ ضرایب شتاب- PGA، Ss و S1 ۷۹
۳.۴.۸ دسته‌بندی و تأثیرات سایت ۷۹
۴.۴.۸ طیف پاسخ شتاب طرح ۸۱
۵.۴.۸ دسته‌های عملیاتی پل- OC ۸۲
۶.۴.۸ ناحیه‌ی عملکرد لرزه‌ای- SPZ ۸۳
۷.۴.۸ تحلیل پاسخ لرزه‌ای الاستیک پل ۸۴
۸.۴.۸ ضریب اصلاح پاسخ- R ۸۴
۹.۴.۸ ظرفیت لنگر ستون و کنترل تقاضا یا ظرفیت ۸۹

www.ketab.ir

۱۰.۴.۸ الزامات P-Δ ۹۲
۱۱.۴.۸ طراحی فونداسیون ۹۲
۵.۸ طراحی لرزه‌ای پل بر اساس LRFD SBD ۹۵
۱.۵.۸ کنترل سختی متعادل ۹۵
۲.۵.۸ طیف پاسخ شتاب طرح ۹۵
۳.۵.۸ دسته‌ی طراحی لرزه‌ای-SDC ۹۶
۴.۵.۸ تحلیل پاسخ لرزه‌ای پل ۹۷
۵.۵.۸ ارزیابی ظرفیت جابجایی خرک پل ۹۹
۶.۵.۸ بررسی تقاضا/ ظرفیت جابجایی خرک پل ۱۰۳
۷.۵.۸ طراحی برشی ستون ۱۰۴
۸.۵.۸ طراحی فونداسیون ۱۰۸
۶.۸ خلاصه ۱۱۱

فصل ۹ طراحی لرزه‌ای پل‌های فولادی ۱۱۳

۱.۹ مقدمه ۱۱۵
۲.۹ فلسفه‌ی بنیادین طراحی لرزه‌ای ۱۱۶
۳.۹ روش طراحی لرزه‌ای مبتنی بر نیروی ضریب R ۱۱۸
۱.۳.۹ ضریب اصلاح پاسخ R ۱۱۸
۲.۳.۹ طراحی شکل‌پذیری ۱۲۱
۳.۳.۹ طراحی ظرفیتی ۱۲۳
۴.۹ مشخصات AASHTO LRFD در مقابل مشخصات راهنما ۱۲۷
۵.۹ زیرسازه‌هایی از جنس فولاد لرزه‌ای نوع ۱ ۱۲۸
۱.۵.۹ کلیات ۱۲۸
۲.۵.۹ قاب‌های شکل‌پذیر لنگربَر ۱۳۰
۳.۵.۹ قاب‌های مهاربندی‌شده ۱۳۶
۶.۹ سازه‌هایی از جنس فولاد لرزه‌ای نوع ۲: روسازه‌ی پل‌ها از نوع دال بر روی شاه‌تیر فولادی ۱۴۸
۱.۶.۹ مسیر بار ۱۴۸
۲.۶.۹ سیستم مقاوم در برابر زلزله‌ی نوع ۲ ۱۵۱
۷.۹ طراحی پایه‌ی جعبه‌ای از جنس فولاد تقویت‌شده ۱۵۵
۸.۹ پایه‌های لوله‌ای فولادی پر شده از بتن ۱۵۶
۹.۹ طرح‌های جایگزین ۱۵۸
۹.۹.۱ مقدمه ۱۵۸

www.ketab.ir

۹.۹.۲ مهاربندهای کمانش‌ناپذیر ۱۵۸
۹.۹.۳ برج‌های جنبان پل ۱۶۸

فصل ۱۰ طراحی لرزه‌ای پایه‌های جدارنازک فولادی و پایه‌ای لوله‌های پرشده با بتن ۱۷۳

۱.۱۰ مقدمه ۱۷۵
۲.۱۰ انواع پایه‌ها ۱۷۷
۳.۱۰ آسیب‌های زلزله‌ی ۱۹۹۵ کوبه ۱۸۰
۴.۱۰ پارامترهای سازه‌ای ۱۸۶
۱.۴.۱۰ پایه‌های فولادی مستطیلی جدارنازک ۱۸۶
۲.۴.۱۰ پایه‌های فولادی دایره‌ای جدارنازک ۱۹۱
۳.۴.۱۰ پایه‌های لوله‌ای پرشده با بتن ۱۹۲
۵.۱۰ مشخصات طراحی لرزه‌ای در ژاپن ۱۹۳
۱.۵.۱۰ محدودیت‌های پارامتری و جزئیات سازه‌ای ۱۹۳
۲.۵.۱۰ تأیید عملکرد لرزه‌ای ۲۰۰
۶.۱۰ دستاوردهای تحقیقاتی اخیر در راستای طراحی لرزه‌ای پیشرفته ۲۰۹
۱.۶.۱۰ کلیات ۲۰۹
۲.۶.۱۰ آزمایش لرزه‌ای و انجام تحلیل لرزه‌ای پیشرفته ۲۱۰
۳.۶.۱۰ ارزیابی عملکرد ارتقاءیافته‌ی پایه‌های لوله‌ای پرشده با بتن از طریق مدل پیشرفته ۲۲۴
۴.۶.۱۰ تأیید ایمنی پایه‌های فولادی توخالی جدارنازک تحت شتاب‌های ۲۲۸
۵.۶.۱۰ لرزه‌ای افقی دوسویه
۷.۱۰ خلاصه و نتیجه‌گیری ۲۳۹
نمادگذاری‌ها ۲۴۱

فصل ۱۱ طراحی لرزه‌ای پل‌های کابلی ۲۴۷

۱.۱۱ مقدمه ۲۴۹
۲.۱۱ عملکرد لرزه‌ای پس از وقوع زلزله ۲۵۰
۳.۱۱ آسیب‌پذیری‌های لرزه‌ای ۲۵۶
۱.۳.۱۱ پل‌های معلق ۲۵۷
۲.۳.۱۱ پل‌های ترکه‌ای ۲۶۲
۳.۳.۱۱ پل‌های در حال ساخت ۲۶۴

www.ketab.ir

۴.۱۱ طراحی لرزه‌ای مفهومی ۲۶۵
۱.۴.۱۱ مشخصات پاسخ ۲۶۶
۲.۴.۱۱ راهبردهای طراحی لرزه‌ای ۲۶۸
۵.۱۱ موضوعات خاص طراحی ۲۷۵
۱.۵.۱۱ تعیین اهمیت پل و عمر خدمت آن ۲۷۶
۲.۵.۱۱ خطر زلزله و معیارهای عملکرد ۲۷۷
۳.۵.۱۱ معیارهای طراحی ۲۸۲
۴.۵.۱۱ جنبش ورودی زمین ۲۸۸
۵.۵.۱۱ میراگرهای ویسکوز ۲۹۳
۶.۵.۱۱ رابط برشی ۲۹۸
۶.۱۱ تحلیل لرزه‌ای ۲۹۹
۱۶.۱ مدل‌سازی میرایی ۳۰۰
۲.۶.۱۱ مدل‌سازی روسازه ۳۰۲
۳.۶.۱۱ مدل‌سازی کابل‌ها و آویزها ۳۰۴
۴.۶.۱۱ اندرکنش خاک–سازه‌ی ۳۰۷
۵.۶.۱۱ تحلیل استاتیک ۳۰۸
۶.۶.۱۱ تحلیل مُدی و طیفی ۳۱۱
۷.۶.۱۱ تحلیل پوش‌اُور ۳۱۲
۸.۶.۱۱ تحلیل تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی ۳۱۳
۷.۱۱ مثال طراحی– پل ترکه‌ای با رابط‌های برشی ۳۱۵
۱.۷.۱۱ شرح پروژه ۳۱۵
۲.۷.۱۱ طراحی رابط‌های برشی ورق فولادی ۳۱۹
۳.۷.۱۱ طراحی اتصالات رابط برشی ۳۲۷
۴.۷.۱۱ عملکرد لرزه‌ای و معیارهای طراحی ۳۳۱
۵.۷.۱۱ تحلیل رابط‌های برشی ورق فولادی ۳۳۲
۶.۷.۱۱ تحلیل اتصالات رابط برشی ۳۴۶
۷.۷.۱۱ قیاس تیرهای رابط برشی با خرپا ۳۵۰
۸.۷.۱۱ تحلیل تاریخچه‌ی زمانی پل دهنه‌ی اصلی ۳۵۵
۹.۷.۱۱ توصیه‌هایی در خصوص آزمون‌های آزمایشگاهی رابط برشی ۳۵۸
۸.۱۱ خلاصه ۳۶۳

www.ketab.ir