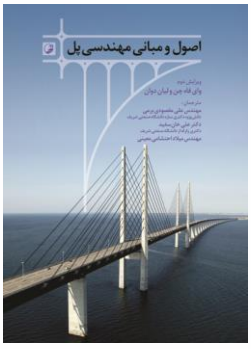
اصول و مبانی مهندسی پل

ویرایش دوم



تألیف:

وای فاه چن،لیان دوان

مترجمان

مهندس علی مقصودی برمی

دکتر علی خان‌سفید

مهندس میلاد احتشامی معینی

سرشناسه: چن، وای-فا، ۱۹۳۶ - م. Chen, Wai-Fah
عنوان و نام پدیدآور: اصول و مبانی مهندسی پل/تالیف وای- فا چن، لیان دوآن ؛ مترجمان علی مقصودی، علی خان‌سفید، میلاد احتشمی معینی.
وضعیت ویراست: [ویراست [۲].
مشخصات نشر: تهران : نوآور، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری: ۴۲۸ ص.
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۳۳-۳
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
عنوان دیگر: مهندسی پل: طراحی زیرسازه.
موضوع: پل‌ها -- پی و پایه -- طرح و ساختمان --Bridges -- Foundations and piers -- Design and construction
شناسه افزوده: دوآن، لیان-- Duan, Lian
شناسه افزوده: مقصودی برمی، علی، ۱۳۶۸ -، مترجم
شناسه افزوده: خان‌سفید، علی، ۱۳۶۸ -، مترجم
شناسه افزوده: احتشامی معینی، میلاد، ۱۳۷۳ -، مترجم
شناسه افزوده: Ehteshami Moeini, Milad
رده بندی کنگره: TG۳۲۰/چ۹م۲ ۱۳۹۷
رده بندی دیویی: ۲۸۴/۶۲۴
شماره کتابشناسی ملی: ۵۵۸۵۵۴۵

اصول و مبانی مهندسی پل

تألیف: وای فاه چن،لیان دوان
مترجمان: مهندس علی مقصودی برمی، دکتر علی خان‌سفید، مهندس میلاد احتشامی معینی
ناشر: نوآور
شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
مدیر فنی: محمدرضا نصیرنیا
نوبت چاپ: اول ـ ۱۳۹۸
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۳۳-۳
قیمت: ۶۹۰۰۰ تومان

نشرنوآور

ناشر همکار: پارسیا

مرکز پخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهدای ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶ تلفن: ۹۲ــ ۶۶۴۸۴۱۹۱، www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

لطفاً جهت دریافت الحاقات و اصلاحات احتمالی این کتاب به سایت انتشارات نوآور مراجعه فرمایید.
www.noavarpub.com https://telegram.me/noavarpub https://www.instagram.com/noavarpub/

فـهرست مطالب

پیشگفتار ۱۱

فصل اول / طراحی مفهومی ۱۳

۱-۱- مقدمه ۱۳
۱-۲- مراحل طراحی پل ۱۴
۱-۳- تعیین ضوابط ۱۵
۱-۳-۱- دستورالعمل‌ها و آئین‌نامه‌ها ۱۵
۱-۳-۲- معیارهای طراحی پروژه خاص ۱۶
۱-۴- مشخصات سازه‌ای پل‌ها ۱۶
۱-۴-۱- انواع پل ۱۶
۱-۴-۲- اجزاء سازه‌ای اصلی ۱۸
۱-۴-۳- آشنایی با محدودیت‌ها ۲۰
۱-۴-۳-۱- سختی جانبی شاهتیر ۲۱
۱-۴-۳-۲- کارایی کابل‌های بلند ۲۲
۱-۴-۳-۳- سختی پیچشی ۲۴
۱-۴-۳-۴- تنش مجاز ۲۴
۱-۴-۴- حداکثر طول دهانه ممکن ۲۴
۱-۴-۴-۱- پل‌های معلق ۲۵
۱-۴-۴-۲- پل‌های قوسی ۲۶
۱-۴-۴-۳- پل‌های ترکه‌ای ۲۷
۱-۴-۴-۴- پل‌های شاهتیری ۲۸
۱-۴-۴-۵- ترکیب پل‌های معلق و ترکه‌ای ۳۰
۱-۴-۴-۶- سازه‌های پل خودمهار و یا مهارشده در زمین ۳۱
۱-۵- فرآیند طراحی ۳۲
۱-۵-۱- مسیر بار ۳۲
۱-۵-۲- استفاده از مزیت‌های نامعینی: شرایط بار دائمی ۳۲
۱-۵-۳- پیش تنیدگی و تعادل بار ۳۳
۱-۵-۴- بار زنده و سایر بارها ۳۴
۱-۵-۵- زلزله و باد ۳۴
۱-۶- مفهوم‌سازی ۳۵
۱-۶-۱- استخراج یک مفهوم جدید ۳۵
۱-۶-۲- استفاده از یک مفهوم از قبل موجود ۳۸
۱-۷- زیبایی شناختی ۳۹
۱-۸- نوآوری ۴۲
۱-۸-۱- تجربه و سوابق ۴۲
۱-۸-۲- نوآوری‌ها ۴۳
۱-۹- جمع‌بندی ۴۶
مراجع ۴۷

فصل دوم / زیبایی‌شناسی: اصول ۴۸

۲-۱- مقدمه ۴۸
۲-۲- اصطلاحات ۴۹
۲-۳- آیا اشیاء کیفیت زیبایی شناختی دارند؟ ۴۹
۲-۴- چگونه انسان ارزشهای زیبایی را دریافت می‌کند؟ ۵۱
۲-۵- نقش فرهنگی نسبت‌های ابعادی ۵۳
۲-۶- ما چگونه نسبت‌های هندسی را درک می‌کنیم؟ ۵۹
۲-۷- درک زیبایی بصورت ناخودآگاه ۶۲
۲-۸- قضاوت زیبایی‌شناختی و سلیقه ۶۳
۲-۹- مشخصات کیفیت‌های زیبایی‌شناختی منجر به راهنمایی برای طراحی می‌گردد. ۶۵
۲-۹-۱- تحقق هدف: کارکرد ۶۶
۲-۹-۲- نسبت ۶۶
۲-۹-۳- ترتیب ۶۷
۲-۹-۴- اصلاح فرم ۶۷
۲-۹-۵- یکپارچگی با محیط ۶۸
۲-۹-۶- بافت سطحی ۶۸
۲-۹-۷- رنگ ۶۹
۲-۹-۸- شخصیت ۶۹
۲-۹-۹- پیچیدگی: تحریک با تنوع ۶۹
۲-۹-۱۰- اتحاد با طبیعت ۷۰
۲-۹-۱۱- نکات پایانی در خصوص قوانین ۷۱
۲-۱۰- زیبایی شناسی و اخلاقیات ۷۱
۲-۱۱- خلاصه ۷۲
مراجع ۷۲

فصل سوم / زیبایی‌شناسی پل: حصول هنر سازه‌ای در طراحی پل ۷۴

۳-۱- مقدمه ۷۴
۳-۱-۱- چرا می‌باید زیبایی‌شناختی را در نظر گرفت. ۷۴
۳-۱-۲- ایرادات مکرر در مقابل توجه به زیبایی شناسی ۷۵
۳-۱-۳- هدف چیست؟ ۷۷
۳-۲- زیبایی‌شناسی و هنر سازه‌ای مهندس ۷۷
۳-۲-۱- سنت زیبایی‌شناسی در مهندسی ۷۷
۳-۲-۲- سه بعد یک سازه ۸۱
۳-۲-۳- هنر سازه‌ای و معماری ۸۲
۳-۳- هنر سازه‌ای و پروسه طراحی ۸۳
۳-۳-۱- طراحی در برابر تحلیل ۸۳
۳-۳-۲- نقش مطالعات موردی در طراحی پل ۸۵
۳-۴- مهندسی مفهومی، مرحله نادیده گرفته شده ی طراحی ۸۷
۳-۴-۱- خلق مفهوم و فرم ۸۷
۳-۴-۲- انجام طراحی مفهومی ۸۸
۳-۵- کاربرد در طراحی ۸۹
۳-۵-۱- ده عامل موثر بر ظاهر ۸۹
۳-۵-۲- تفکر در خصوص زیبایی در طراحی ۸۹
۳-۵-۲-۱- درک اهداف و سایت ۸۹
۳-۵-۲-۱-۱- الزامات کارفرما ۸۹
۳-۵-۲-۱-۲- ملزومات جامعه و سایر ذینفعان ۹۰
۳-۵-۲-۱-۳- سایت ۹۰
۳-۵-۲-۱-۴- کوریدورها و تقاطعات ۹۲

۳-۵-۲-۲- توسعه یک طراحی ۹۲
۳-۵-۲-۳- انجام مطالعات طراحی مفهومی ۹۲
۳-۵-۲-۴- تجزیه و تحلیل و طراحی تفصیلی ۹۳
۳-۵-۳- همکاری با معماران، شهرسازان، و هنرمندان ۹۴
۳-۵-۴- جایگزینی پل‌های تاریخی/ طراحی پلها در اماکن تاریخی ۹۵
۳-۶- دستورالعمل طراحی ۹۶
۳-۶-۱- هندسه افقی و عمودی ۹۶
۳-۶-۲- نوع روسازه ۹۶
۳-۶-۳- جانمایی پایه/ تکیه گاه و آرایش دهانه‌ها ۹۷
۳-۶-۴- جانمایی و ارتفاع کوله ۹۸
۳-۶-۵- شکل روسازه (شامل جان پناه، آویزها و نرده‌ها) ۹۹
۳-۶-۶- شکل پایه ۱۰۰
۳-۶-۷- شکل کوله ۱۰۱
۳-۶-۸- رنگ ۱۰۱
۳-۶-۹- بافت، تزئینات و جزئیات ۱۰۲
۳-۶-۱۰- نورپردازی، اعلانات و چشم انداز ۱۰۴
۳-۶-۱۰-۱- نورپردازی ۱۰۴
۳-۶-۱۰-۲-علامت گذاری ۱۰۵
۳-۶-۱۰-۳-ایجاد چشم انداز ۱۰۶
۳-۷- چالش مهندس ۱۰۶
مراجع ۱۰۷

فصل چهارم / آئین‌نامه‌های طراحی پل‌های بزرگراهی ۱۰۸

۴-۱- مقدمه ۱۰۸
۴-۲- فلسفه ایمنی ۱۰۸
۴-۲-۱-مقدمه ۱۰۸
۴-۲-۲- طراحی به روش تنش مجاز ۱۰۹
۴-۲-۳- طراحی به روش ضریب بار ۱۱۰
۴-۲-۴- طراحی مبتنی بر احتمال و قابلیت اطمینان ۱۱۰
۴-۲-۵- مبنای احتمالاتی آئین نامه LRFD ۱۱۱
۴-۲-۵-۱- مقدمه‌ای بر قابلیت اطمینان به عنوان پایه‌ی فلسفه طراحی ۱۱۱
۴-۲-۵-۲- کالیبراسیون ضرایب بار و مقاومت ۱۱۴
۴-۲-۵-۳- ضرایب بار و مقاومت ۱۱۷
۴-۳- حالات حدی ۱۱۸
۴-۴- اهداف طراحی ۱۱۹
۴-۴-۱- ایمنی ۱۱۹
۴-۴-۱-۱- معادله کفایت ۱۱۹
۴-۴-۱-۲- الزامات خاص آئین نامه LRFD ۱۲۰
۴-۴-۱-۲-۱- شکل پذیری ۱۲۱
۴-۴-۱-۲-۲- نامعینی ۱۲۲
۴-۴-۱-۲-۳- اهمیت بهره‌برداری ۱۲۲
۴-۴-۱-۳- ترکیبات بار طراحی در آئین نامه LRFD ۱۲۲
۴-۴-۲- سرویس‌دهی ۱۲۸
۴-۴-۳- ساخت‌پذیری ۱۲۹
مراجع ۱۲۹

فصل پنجم / بارهای وارد بر پل‌های بزرگراهی و توزیع آنها ۱۳۰

۵-۱- مقدمه ۱۳۰
۵-۲- بارهای دائمی ۱۳۰
۵-۳- بار زنده وسایل نقلیه ۱۳۱
۵-۳-۱- بار زنده وسیله نقلیه طراحی ۱۳۱
۵-۳-۲- وسایل نقلیه مجاز ۱۳۲
۵-۳-۳- بار خستگی ۱۳۳
۵-۳-۴- توزیع بار در جهت عرضی ۱۳۳
۵-۳-۴-۱- پل‌های با سیستم تیر-دال ۱۳۶
۵-۳-۴-۲- عرشه‌ها ۱۳۶
۵-۳-۴-۳- پل‌های با سیستم دال ۱۳۶
۵-۳-۵- توزیع بار برای طراحی زیرسازه ۱۳۶
۵-۳-۶- حضور همزمان بارهای زنده در خطوط عبوری ۱۳۸
۵-۳-۷- اثرات دینامیکی بار ۱۳۸
۵-۳-۸- بارهای افقی ناشی از ترافیک وسایل نقلیه ۱۳۸
۵-۴- بار عابر پیاده ۱۳۹
۵-۵- بار باد ۱۳۹
۵-۶- اثرات ناشی از تغییر شکل‌های اعمالی ۱۴۰
۵-۷- استثنائات بارهای تعریف شده در آئین نامه ۱۴۲
مراجع ۱۴۲

فصل ششم / الزامات طراحی پل راه‌آهن ۱۴۳

۶-۱- مقدمه ۱۴۳
۶-۱-۱- شبکه راه آهن ۱۴۳
۶-۱-۲- تفاوت‌های اساسی بین پل‌های راه‌آهن و بزرگراه ۱۴۴
۶-۱-۳- محیط مقرراتی ۱۴۵
۶-۱-۴ کتابچه راهنمای مهندسی راه آهن، AREMA ۱۴۵
۶-۲- فلسفه پل راه‌آهن ۱۴۷
۶-۳- انواع پل راه آهن ۱۴۸
۶-۴- عرشه پل ۱۴۹
۶-۴-۱- کلیات ۱۴۹
۶-۴-۲- عرشه باز ۱۴۹
۶-۴-۳- عرشه بالاست ۱۴۹
۶-۴-۴- تثبیت مستقیم ۱۵۰
۶-۴-۵- جزئیات عرشه ۱۵۰
۶-۵- معیارهای طراحی ۱۵۰
۶-۵-۱- ملاحظات هندسی ۱۵۰
۶-۵-۲- نسبت بندی ۱۵۱
۶-۵-۳- بارهای طراحی پل ۱۵۱
۶-۵-۳-۱- بار مرده ۱۵۱
۶-۵-۳-۲- بار زنده ۱۵۳
۶-۵-۳-۳- ضربه ۱۵۴
۶-۵-۴-۳- نیروی گریز از مرکز ۱۵۴
۶-۵-۵-۳- بارهای جانبی ناشی از تجهیزات ۱۵۵
۶-۵-۶-۳- نیروی طولی حاصل از بار زنده ۱۵۵
۶-۵-۷-۳- بارگذاری باد ۱۵۶
۶-۵-۸-۳ جریان سیال، یخ و شناوری ۱۵۷

۶-۵-۳-۹- تغییرات حجم ۱۵۸
۶-۵-۳-۱۰- بارهای لرزه‌ای ۱۵۹
۶-۵-۳-۱۱- بررسی پایداری ۱۶۰
۶-۵-۴ ترکیبات بار ۱۶۰
۶-۵-۵- ملاحظات سرویس دهی ۱۶۱
۶-۵-۵-۱- خستگی ۱۶۱
۶-۵-۵-۲- تغییر شکل ۱۶۲
۶-۵-۵-۳- ملاحظات راه‌آهن با سرعت بالا ۱۶۲
۶-۵-۵-۴- سایر موارد ۱۶۲
۶-۶- رتبه‌بندی ظرفیت ۱۶۲
۶-۶-۱- کلیات ۱۶۲
۶-۶-۲- رتبه‌بندی عادی ۱۶۳
۶-۶-۳- رتبه‌بندی حداکثر ۱۶۳
مراجع ۱۶۳

فصل هفتم / پل‌های خطوط ریلی سریع السیر (پر سرعت) ۱۶۴

۷-۱- مقدمه ۱۶۴
۷-۱-۱ – شبکهٔ ریلی پرسرعت ۱۶۴
۷-۱-۲- تضمین سیستم ۱۶۵
۷-۱-۳- خطوط ریلی پرسرعت تایوان ۱۶۵
۷-۲- الزامات ۱۶۷
۷-۲-۱- الزامات عمومی ۱۶۷
۷-۲-۲- الزامات ایمنی ۱۶۸
۷-۲-۳- الزامات مربوط به نگهداری ۱۶۸
۷-۲-۳-۱- قابلیت تعمیر و نگهداری ۱۶۸
۷-۲-۳-۲- دوام ۱۶۹
۷-۲-۳-۳- در دسترس بودن ۱۶۹
۷-۲-۴- الزامات مربوط به محیط زیست ۱۶۹
۷-۲-۴-۱- آلودگی صوتی ۱۶۹
۷-۲-۴-۲- ارتعاش ۱۶۹
۷-۲-۵- الزامات خاص ۱۷۰
۷-۲-۵-۱- اندرکنش بین سازه و ریل ۱۷۰
۷-۲-۵-۲- تاثیرات دینامیکی ناشی از حرکت ۱۷۱
۷-۲-۵-۳- کنترل خیز یا خمش ۱۷۲
۷-۲-۵-۴- نشست قائم ۱۷۲
۷-۲-۶- الزامات مربوط به وجوه مشترک ۱۷۲
۷-۲-۶-۱- ایمنی ۱۷۳
۷-۲-۶-۱-۱- پیاده‌رو ایمنی ۱۷۳
۷-۲-۶-۱-۲- خروجی اضطراری ۱۷۳
۷-۲-۶-۱-۳- محافظت در برابر خروج از ریل ۱۷۳
۷-۲-۶-۲- اجزای ریل ۱۷۴
۷-۲-۶-۳- وجوه مشترک در طول سیستم ۱۷۵
۷-۲-۶-۳-۱- تاسیسات تامین برق ۱۷۵
۷-۲-۶-۳-۲- تاسیسات مربوط به ارتباطات و سیگنال دهی ۱۷۵
۷-۲-۶-۳-۳- سرویس‌های E&M مسیرهای دو سمت ۱۷۶
۷-۲-۶-۳-۴- سایر موارد ۱۷۶
۷-۳- برنامه‌ریزی ۱۷۷
۷-۳-۱- مصالح ۱۷۷
۷-۳-۲- نوع سازه ۱۷۸
۷-۳-۳- طول دهانهٔ معمول ۱۷۹
۷-۳-۴- روش ساخت ۱۸۰
۷-۳-۵- برنامه ریزی THSRP ۱۸۱
۷-۴- معیارهای طراحی ۱۸۲
۷-۴-۱- بارگذاری‌ها ۱۸۲
۷-۴-۱-۱ - بارهای مرده (D) ۱۸۲
۷-۴-۱-۱-۱ – وزن خود سازه ۱۸۲
۷-۴-۱-۱-۲ – بار مردهٔ مرحله دوم ۱۸۲
۷-۴-۱-۲ – بار ریل ۱۸۳
۷-۴-۱-۲-۱ – بارگذاری ناشی از قطار خط ریلی پرسرعت (L) ۱۸۳
۷-۴-۱-۲-۲ – اثر نوزینگ یا هانتیگ ۱۸۳
۷-۴-۱-۲-۳- اثر گردش (CE) ۱۸۴
۷-۴-۱-۲-۴ – نیروی گریز از مرکز (CF) ۱۸۴
۷-۴-۱-۲-۵ – نیروهای کشش و ترمزگیری (LF) ۱۸۵
۷-۴-۱-۲-۶- بارگذاری خستگی ۱۸۵
۷-۴-۱-۲-۷ – اثرات جریان لغزشی ناشی از عبور قطار ۱۸۵
۷-۴-۱-۳- بارهای محیطی ۱۸۶
۷-۴-۱-۳-۱ – بار باد (W) ۱۸۶
۷-۴-۱-۳-۲ – تاثیرات دما (T) ۱۸۷
۷-۴-۱-۳-۳ – نیروی وارده به ریل به دلیل درجه حرارت (RF) ۱۸۸
۷-۴-۱-۴ – بارهای خاص ۱۸۸
۷-۴-۱-۴-۱ – نیروی ناشی از برخورد وسایل نقلیهٔ بزرگراهها (CL) ۱۸۸
۷-۴-۱-۴-۲- بار ناشی از خارج شدن از خط (DR) ۱۸۸
۷-۴-۱-۴-۳ – بارهای زلزله (EQ) ۱۸۹
۷-۴-۱-۵ – بارگذاری‌های دیگر ۱۹۱
۷-۴-۲ – ترکیبات بارها ۱۹۱
۷-۴-۲-۱ – طراحی به روش تنش مجاز ۱۹۱
۷-۴-۲-۲- طراحی به روش ضریب بار و ترکیب بار های مربوطه ۱۹۲
۷-۴-۲-۳ – کنترل تغییرشکل ۱۹۲
۷-۴-۳ – ملاحظات دیگر ۱۹۴
۷-۴-۳-۱ – تکیه‌گاه‌ها ۱۹۴
۷-۴-۳-۲- درزهای انبساطی سازه‌ای ۱۹۵
۷-۴-۳-۳- الزامات ویژه ۱۹۵
مراجع ۱۹۶

فصل هشتم / شاخص‌های عملکرد سازه‌ای پل‌ها ۱۹۷

۸-۱- مقدمه ۱۹۷
۸-۲- ترازهای ارزیابی عملکرد سازه پل‌ها ۱۹۸
۸-۲-۱- روش مبتنی بر جزء ۱۹۸
۸-۲-۲- روش مبتنی بر سیستم ۱۹۹
۸-۳- روش‌های تعیین ترازهای ایمنی ۲۰۰

۸-۳-۱- طراحی به روش تنش کار ۲۰۰
۸-۳-۲- طراحی به روش ضریب بار ۲۰۱
۸-۳-۳- طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت ۲۰۱
۸-۴- شاخص‌های عملکرد برای پل‌ها ۲۰۲
۸-۴-۱- شاخص‌های عملکرد نظیر شرایط ۲۰۲
۸-۴-۱-۱- امتیازدهی شرایط NBI ۲۰۲
۸-۴-۱-۲- امتیازدهی شرایط Pontis ۲۰۳
۸-۴-۲- شاخص‌های عملکرد مربوط به ایمنی ۲۰۴
۸-۴-۲-۱- احتمال شکست ۲۰۴
۸-۴-۲-۲- تابع چگالی احتمال زمان خرابی ۲۰۵
۸-۴-۲-۳- تابع توزیع تجمعی (CDF) زمان شکست ۲۰۵
۸-۴-۲-۴- تابع بقاء ۲۰۶
۸-۴-۲-۵- تابع نرخ شکست (خطر) ۲۰۶
۸-۴-۲-۶- شاخص قابلیت اطمینان ۲۰۷
۸-۴-۳- شاخص‌های عملکرد نظیر تاب خرابی ۲۰۸
۸-۴-۳-۱- نامعینی ۲۰۸
۸-۴-۳-۲- آسیب پذیری و رواداری آسیب ۲۰۹
۸-۴-۳-۳- استحکام ۲۱۰
۸-۴-۳-۴- تاب‌آوری ۲۱۱
۸-۴-۴- شاخص‌های عملکرد مربوط به هزینه ۲۱۲
۸-۴-۴-۱- هزینه‌های طول عمر ۲۱۲
۸-۴-۴-۲- ریسک ۲۱۳
۸-۵- به‌روزرسانی عملکرد پل ۲۱۴
۸-۵-۱- نقش بازرسی و پایش سلامت سازه ۲۱۴
۸-۵-۲- به‌روزرسانی بیژین (Bayesian) ۲۱۵
۸-۶- جمع‌بندی ۲۱۶
تعریف اصطلاحات ۲۱۶
مراجع ۲۱۸

فصل نهم / تئوری سازه ۲۲۱
۹-۱- مقدمه ۲۲۱
۹-۱-۱- معادلات پایه: تعادل، سازگاری و قانون مشخصه ۲۲۱
۹-۱-۲- سه سطح: مکانیک محیط پیوسته، روش المان محدود، و تئوری تیر-ستون ۲۲۲
۹-۱-۳- مکانیک سازه تحلیلی، مکانیک سازه محاسباتی، و مکانیک سازه کیفی ۲۲۳
۹-۱-۴- تحلیل ماتریسی سازه‌ها: روش نیرو و روش جابجایی ۲۲۳
۹-۲- معادلات تعادل ۲۲۴
۹-۲-۱- معادلات تعادل و معادله کار مجازی ۲۲۴
۹-۲-۲- معادله تعادل برای المان‌ها ۲۲۶
۹-۲-۳- تبدیل مختصات ۲۲۷
۹-۲-۴- معادله تعادل برای سازه‌ها ۲۲۸
۹-۲-۵- خطوط و سطوح تاثیر ۲۲۹
۹-۳- معادلات سازگاری ۲۳۰
۹-۳-۱- تغییرشکل وکرنش بزرگ ۲۳۰
۹-۳-۲- معادله سازگاری برای اجزاء ۲۳۲
۹-۳-۳- معادله سازگاری برای سازه ۲۳۲
۹-۳-۴- قانون مزدوج ۲۳۲
۹-۴- معادلات مشخصه ۲۳۳
۹-۴-۱- الاستیسیته و پلاستیسیته ۲۳۳
۹-۴-۲- رفتار الاستیک خطی و الاستیک غیرخطی ۲۳۳
۹-۴-۳- هندسه غیرخطی ۲۳۴
۹-۵- روش تغییرمکان ۲۳۵
۹-۵-۱- ماتریس سختی برای اجزاء ۲۳۵
۹-۵-۲- ماتریس سختی برای سازه ۲۳۵
۹-۵-۳- معکوس ماتریس ۲۳۶
۹-۵-۴- توجه خاص ۲۳۶
۹-۶- زیرسازه و لحاظ تقارن ۲۳۸
مراجع ۲۳۹

فصل دهم / روش المان محدود ۲۴۰
۱۰-۱- مقدمه ۲۴۰
۱۰-۲- **FEM** برای مسئله مقدار مرزی یک بعدی ۲۴۱
۱۰-۲-۱- مسئله مقدار مرزی یک بعدی ۲۴۱
۱۰-۲-۲- فرم قوی و فرم ضعیف ۲۴۱
۱۰-۲-۳- روش باقیمانده‌های وزنی (WRM) ۲۴۲
۱۰-۲-۴- FEM ۲۴۴
۱۰-۲-۵- خطا ۲۴۷
۱۰-۲-۶- المان ایزوپارامتریک ۲۴۹
۱۰-۳- FEM برای مسائل مکانیک جامدات ۲۵۱
۱۰-۳-۱- فرم قوی و فرم ضعیف ۲۵۲
۱۰-۳-۲- FEM ۲۵۴
۱۰-۳-۳- المان‌های ایزوپارامتریک ۲۵۶
۱۰-۳-۴- شمای انتگرال‌گیری گاوس ۲۵۸
۱۰-۳-۵- محاسبه تنش ۲۶۰
۱۰-۴- برخی موضوعات دیگر در مکانیک سازه ۲۶۲
۱۰-۴-۱- المان‌های سازه‌ای ۲۶۲
۱۰-۴-۲- تحلیل غیرخطی ۲۶۴
مراجع ۲۶۷

فصل یازدهم / مدلسازی سازه‌ای ۲۶۸
۱۱-۱- مقدمه ۲۶۸
۱۱-۲- پس زمینهٔ نظری ۲۶۹
۱۱-۳- مدلسازی ۲۷۲
۱۱-۳-۱- برنامه‌های کامپیوتری موجود ۲۷۲
۱۱-۳-۲- انتخاب روش مدلسازی ۲۷۳
۱۱-۳-۳- هندسه ۲۸۰
۱۱-۳-۴- خواص مصالح و مقطع ۲۸۴
۱۱-۳-۵- شرایط مرزی ۲۸۶
۱۱-۳-۶- بارها ۲۸۷
۱۱-۴- جمع‌بندی ۲۸۹
مراجع ۲۸۹

فصل دوازدهم / طراحی بتنی ۲۹۰
۱۲-۱-مقدمه ۲۹۰

۱۲-۲-مشخصات مصالح ۲۹۰
۱۲-۲-۱-بتن ۲۹۰
۱۲-۲-۱-۱-مقاومت بتن محصور نشده ۲۹۲
۱۲-۲-۱-۲-مقاومت بتن محصور شده ۲۹۲
۱۲-۲-۱-۳- خزش ۲۹۳
۱۲-۲-۱-۴-جمع شدگی (shrinkage) ۲۹۳
۱۲-۲-۱-۵-خستگی (Fatigue) ۲۹۴
۱۲-۲-۲-فولاد مسلح کننده(Reinforcing Steel) ۲۹۴
۱۲-۲-۲-۱-روابط مقاومت(Strength Relationships) ۲۹۴
۱۲-۲-۲-۲- خستگی (Fatigue) ۲۹۴
۱۲-۲-۳- پیش‌تنیدگی فولاد (Prestressing Steel) ۲۹۵
۱۲-۲-۳-۱-کابل پیش‌تنیدگی(Prestressing Strand) ۲۹۵
۱۲-۲-۳-۲- میلگرد پیش‌تنیدگی (Prestressing Bars) ۲۹۶
۱۲-۲-۳-۳-وادادگی(Relaxation) ۲۹۶
۱۲-۲-۳-۴- خستگی(Fatigue) ۲۹۷
۱۲-۲-۴- مصالح نوین(New Materials) ۲۹۷
۱۲-۲-۴-۱-الیاف کربن(Carbon Fiber) ۲۹۷
۱۲-۲-۴-۲- الیاف شیشه‌ای (Glass Fiber) ۲۹۷
۱۲-۳- حالات حدی نهایی ۲۹۷
۱۲-۴- مدل‌سازی مقطع مسطح ۲۹۹
۱۲-۴-۱- مفروضات ۲۹۹
۱۲-۴-۲- حالت حدی بهره‌برداری ۳۰۰
۱۲-۴-۲-۱- مقاطع مسلح شده ۳۰۱
۱۲-۴-۲-۲- مقاطع پیش‌تنیده ۳۰۲
۱۲-۴-۲-۳- ترک ۳۰۳
۱۲-۴-۲-۴- خستگی ۳۰۴
۱۲-۴-۳- حالت حدی مقاومت ۳۰۴
۱۲-۴-۳-۱- مفاهیم عمومی ۳۰۴
۱۲-۴-۳-۲- مقاومت خمشی اسمی ۳۰۶
۱۲-۴-۳-۳- مقاومت برشی اسمی ۳۰۶
۱۲-۴-۳-۴- مقاومت محوری اسمی ۳۰۸
۱۲-۴-۴- حالت حدی بحرانی ۳۰۸
۱۲-۴-۵- مثال‌های طراحی ۳۰۹
۱۲-۴-۵-۱- ستون‌های دایره‌ای ۳۰۹
۱۲-۴-۵-۲- تیر بتن آرمه ۳۱۱
۱۲-۴-۵-۳- تیر بتنی پیش‌تنیده ۳۱۴
۱۲-۵- مدل‌سازی خرپایی (strut and tie) ۳۱۷
۱۲-۵-۱- مفروضات ۳۱۷
۱۲-۵-۲- المان‌های فشاری ۳۱۹
۱۲-۵-۳- المان‌های کششی ۳۱۹
۱۲-۵-۴- گره‌ها ۳۱۹
۱۲-۵-۵- ملاحظات بهره‌برداری ۳۲۰
۱۲-۵-۶- مثال تیر عمیق ۳۲۰
۱۲-۶- جمع‌بندی ۳۲۳
مراجع ۳۲۳

فصل سیزدهم / طراحی فولاد ۳۲۴
۱۳-۱- مقدمه ۳۲۴
۱۳-۲- خواص مواد ۳۲۴
۱۳-۲-۱- فولادهای ساختمانی ۳۲۴
۱۳-۲-۲- پیچ و مهره و واشر ۳۲۵
۱۳-۲-۳- فلز جوش ۳۲۶
۱۳-۳- طبقه‌بندی مقطع ۳۲۷
۱۳-۴- اعضای کششی ۳۳۰
۱۳-۴-۱- تسلیم سطح مقطع کل ۳۳۰
۱۳-۴-۲- شکستگی سطح مقطع خالص ۳۳۱
۱۳-۴-۳-ملاحظات بهره برداری ۳۳۲
۱۳-۵- اعضای فشاری ۳۳۲
۱۳-۵-۱-کمانش خمشی ۳۳۵
۱۳-۵-۲- طول مؤثر ۳۳۶
۱۳-۵-۳-کمانش موضعی ۳۳۶
۱۳-۵-۴- اعضای فشاری ساختنی ۳۳۶
۱۳-۵-۵- اعضای تحت ترکیب فشار و خمش ۳۳۷
۱۳-۶- اعضای خمشی ۳۳۹
۱۳-۶-۱- لنگر تسلیم و لنگر پلاستیک ۳۳۹
۱۳-۶-۱-۱-ضریب شکل ۳۴۱
۱۳-۶-۲-کمانش موضعی ۳۴۱
۱۳-۶-۳- کمانش پیچشی-جانبی ۳۴۳
۱۳-۶-۴- رفتار برشی اعضای خمشی ۳۴۶
۱۳-۶-۵- ملاحظات سطح بهره برداری ۳۴۸
۱۳-۷-موضوعات مربوط به تیرورق ۳۴۸
۱۳-۷-۱-کمانش موضعی ۳۴۸
۱۳-۷-۲-کمانش خمشی جان و حذف بار ۳۴۹
۱۳-۷-۳- شاهتیرهای ترکیبی ۳۵۰
۱۳-۷-۴-کمانش جانبی بال فشاری ۳۵۱
۱۳-۸- مبانی اتصالات ۳۵۱
۱۳-۸-۱- پیچ و اتصالات پیچی ۳۵۲
۱۳-۸-۱-۱-انواع خرابی ۳۵۲
۱۳-۸-۱-۱-۱-گسیختگی کششی ۳۵۲
۱۳-۸-۱-۱-۲-شکست برشی ۳۵۳
۱۳-۸-۱-۱-۳- اندرکنش کشش و برش ۳۵۳
۱۳-۸-۱-۱-۴- لغزش اتصال ۳۵۳
۱۳-۸-۱-۱-۵-لهیدگی پیچ ۳۵۴
۱۳-۸-۲-جوش و اتصالات جوشی ۳۵۵
۱۳-۸-۲-۱-مقاومت جوش گوشه ۳۵۷
۱۳-۸-۲-۲- مقاومت جوش نفوذی ۳۵۷
تعریف واژگان ۳۵۹
مراجع ۳۶۱

فصل چهاردهم / کاربرد پلیمرهای مسلح به الیاف (FRP) در پل‌ها ۳۶۳
۱۴-۱- مقدمه ۳۶۳
۱۴-۲- پلیمرهای مسلح به الیاف(FRP) ۳۶۳
۱۴-۲-۱- اجزاء اصلی پلیمر مسلح به الیاف ۳۶۴
۱۴-۲-۱-۱- الیاف ۳۶۵
۱۴-۲-۱-۲- رزین‌ها ۳۶۶

۱۴-۲-۲- مشخصات پیلمرهای مسلح شده با FRP ۳۶۷
۱۴-۲-۳- روابط مشخصه برای FRPها ۳۶۸
۱۴-۲-۳-۱- مقاومت کششی و مدول الاستیسیته ۳۶۸
۱۴-۲-۳-۲- مقاومت و مدول الاستیسیته فشاری ۳۶۸
۱۴-۲-۴- رفتار بتن مسلح به FRP ۳۶۹
۱۴-۲-۴-۱- سازگاری کرنش‌ها ۳۶۹
۱۴-۲-۴-۲- مودهای شکست ۳۶۹
۱۴-۲-۴-۲-۱- نسبت تسلیح شکست متوازن ۳۷۰
۱۴-۲-۴-۲-۲- شکست ناشی از خرد شدن بتن ۳۷۲
۱۴-۲-۴-۲-۳- شکست کششی ۳۷۳
۱۴-۳- دوام پلیمرهای مسلح به الیاف(FRP) ۳۷۴
۱۴-۴- عرشه پل ۳۷۷
۱۴-۴-۱- عرشه‌های پل دارای FRP ۳۷۷
۱۴-۴-۲- دال‌های عرشه پل با FRP ۳۷۸
۱۴-۴-۲-۱- دال‌های مهارشده داخلی ۳۷۹
۱۴-۴-۲-۲- دال‌های مهارشده خارجی ۳۸۰
۱۴-۵- مقاوم‌سازی پل‌های بتنی ۳۸۲
۱۴-۵-۱- کلیات ۳۸۲
۱۴-۵-۲- مقاوم‌سازی اعضای خمشی ۳۸۳
۱۴-۵-۳- مقاوم‌سازی اعضای فشاری ۳۸۴
۱۴-۵-۴- مقاوم‌سازی برای برش ۳۸۵
۱۴-۵-۵- مطالعات موردی استفاده از پلیمرهای FRP در بهسازی ۳۸۶
۱۴-۶- مقاوم‌سازی پل‌های چوبی ۳۸۸
۱۴-۷- مطالعه موردی ۳۹۱
۱۴-۷-۱- پل Crowchild Trail، آلبرتا ۳۹۱
۱۴-۷-۲- اسکله بندرگاهی Hall، واقع در Nova Scotia ۳۹۲
۱۴-۷-۳- پل Joffre، واقع در Que'bec ۳۹۳
۱۴-۷-۴- پل Taylor، واقع در Manitoba ۳۹۳
۱۴-۷-۵- پل Centre Street، واقع در آلبرتا ۳۹۴
۱۴-۷-۶- پل عابر Universite' de Sherbrook، واقع در کبک ۳۹۶
۱۴-۷-۷- پل Tourand Creek، واقع در Manitoba، کانادا ۳۹۶
۱۴-۷-۸-پل Val-Alain بر روی بزرگراه شماره ۲۰ شرقی ۳۹۷
۱۴-۷-۹- بهسازی عرشه پل خیابان Glendale (بخش نیاگارا، اونتاریو) ۳۹۸
مراجع ۳۹۹

فصل پانزدهم / فولاد با عملکرد بالا ۴۰۲
۱۵-۱- مقدمه ۴۰۲
۱۵-۲- خواص مواد ۴۰۳
۱۵-۳- مشخصات خستگی و گسیختگی ۴۰۵
۱۵-۴- جوش‌پذیری ۴۰۶
۱۵-۵- خاصیت ضد زنگ ۴۰۸
۱۵-۶- مطالعات و تجربیاتی از پل‌هایی که با فولاد با عملکرد بالا طراحی شده‌اند ۴۰۹
۱۵-۶-۱- ایالات متحده (Hamby et al., 2002) ۴۱۰
۱۵-۶-۱-۱- مطالعهٔ هزینهٔ طراحی شاهتیر ۴۱۰
۱۵-۶-۱-۲- تجربهٔ تنسی ۴۱۰
۱۵-۶-۱-۳- تجربهٔ پنسیلوانیا ۴۱۱
۱۵-۶-۲- ژاپن ۴۱۱
۱۵-۶-۲-۱- پل تیر ورق (JSCE, 2009) ۴۱۱
۱۵-۶-۲-۲- پل تیر ورق بلندتر (JSCE, 2009) ۴۱۲
۱۵-۶-۲-۳- پل تیر ورق مرکب پیوسته دو دهانه‌ای (JSCE, 2009) ۴۱۳
۱۵-۶-۲-۴- پل خرپای فولادی (انجمن مهندسین عمران ژاپن، ۲۰۰۹) ۴۱۳
۱۵-۶-۲-۵- تیر ورق با مقطع فشرده (یاماگوچی و همکاران، ۲۰۱۱) ۴۱۳
۱۵-۶-۲-۶- پل دروازهٔ توکیو (انجمن مهندسین عمران ژاپن، ۲۰۰۹) ۴۱۴
۱۵-۷- پل‌های فولادی ضد زنگ ۴۱۵
۱۵-۷-۱- عملکرد پلهای فولادی ضد زنگ ۴۱۷
۱۵-۷-۲- ارزیابی خورندگی جوی (انجمن ساخت و ساز فولاد ژاپن، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹؛ یاماگوچی، ۲۰۰۷) ۴۱۹
۱۵-۷-۳- تعمیر و نگهداری پل‌های فولادی ضد زنگ (انجمن ساخت و ساز فولاد ژاپن، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹؛ یاماگوچی، ۲۰۰۸) ۴۲۲
۱۵-۷-۳-۱- مفاهیم پایه ۴۲۲
۱۵-۷-۳-۲- بازرسی‌ها ۴۲۳
۱۵-۷-۳-۳- روشهای بازرسی ۴۲۴
۱۵-۷-۳-۳-۱- ارزیابی ظاهر خارجی ۴۲۴
۱۵-۷-۳-۳-۲- آزمایش چسب اسکاچ ۴۲۵
۱۵-۷-۳-۳-۳- اندازه گیری ضخامت زنگ ۴۲۵
۱۵-۷-۳-۳-۴- اندازه گیری ضخامت ورق ۴۲۵
۱۵-۷-۳-۴- کنترل و تأیید عملکرد ۴۲۶
۱۵-۸- دردسترس بودن و هزینه ۴۲۷
۱۵-۹- جمع‌بندی ۴۲۷
مراجع ۴۲۸

پیشگفتار

پلها یک اتصال حیاتی و با اهمیت در یک شبکه حمل و نقل می باشند، و متناسب با این اهمیت انتظار می‌رود که مورد توجه ویژه قرار گیرند. پل‌ها باید ایمن، کارآمد، اقتصادی و با طرح معماری متناسب باشند. به نظر، مهمترین شاخص در طراحی پل‌ها بحث ایمنی بوده و غالب مهندسان پل نیز بیشتر توجه خود را به این موضوع معطوف می‌دارند. به این معنا که پلی باید طراحی گردد که تحت تمام بارهایی که تحت آنها قرار می‌گیرد، پایداری کافی داشته باشد. این موضوع اصلی ترین لازمه یک پل است، که در صورت عدم تامین آن امکان بازگشایی پل به روی ترافیک نیز ممکن نمی‌باشد. اما در کنار ایمنی پل، سه مسئله دیگر یعنی کارآمدی پل، مسائل اقتصادی و زیبایی آن نیز برای حصول یک طرح پل ماندنی غیرقابل چشم‌پوشی هستند. دستیابی به این موارد بدون آگاهی از اصول مربوطه عملی نمی‌باشد.

با توجه به موارد فوق و پس از مطالعه این کتاب که جلد اول از یک مجموعه ۷ جلدی است، آن را منبع مناسبی برای آشنایی با اصول اولیه مهندسی پل یافتیم و برآن شدیم در راستای دسترسی آسان کلیه مهندسان پل به این منبع با ارزش، نسبت به ترجمه آن اقدام نمائیم. به ویژه آن که، نوسیندگان این اثر در تالیف این کتاب در تمام قسمت‌ها مروری کامل بر پیشینه مطالعات موجود انجام داده‌اند و همچنین آخرین دستاوردهای مربوطه را نیز ارائه کرده‌اند. لذا، از این حیث خواندن این کتاب به دانشجویان، مهندسان و متخصصان علاقه‌مند به زمینه مهندسی پل که به دنبال دستیابی به آخرین دستآوردها در این حوزه هستند نیز پیشنهاد می‌گردد.

کتاب مذکور در اصل دارای ۲۲ فصل بوده که ۱۵ فصل آن که از اهمیت و کاربرد بالاتری برخوردار هستند ترجمه و در کتاب پیش رو ارائه شده‌اند. لازم به ذکر است همانطور که از عنوان کتاب نیز مشخص است، در این کتاب به اصول مهندسی پل پرداخته خواهد شد؛ از طراحی مفهومی که ابتدایی‌ترین بخش از کار طراحی است تا مسائل زیبایی شناسی، بارگذاری، اصول تحلیل و مدلسازی و سپس طراحی فولادی و بتنی، و همچنین مصالح نوین نظیر فولاد پرمقاومت و پلیمرهای مسلح به الیاف، مورد بحث و کاوش قرار خواهند گرفت. خواندن این کتاب به قطع مبانی و پایه‌های لازم را جهت گام برداشتن در مسیر تبدیل شدن به یک طراح حرفه‌ای پل تامین می‌نماید.

درپایان، لازم به ذکر است که قطعاً ترجمه این اثر مستلزم حمایت‌های عزیزانی بوده است که ما را در انجام آن یاری کرده‌اند؛ به ویژه محبت‌های مدیریت و مجموعه انتشارات نوآور، که حسب وظیفه مراتب تقدیر و تشکر خود را از همه این گرامیان اعلام می‌داریم. ضمن آنکه این کتاب نیز همچون تمامی کتب منتشر شده خالی از ایراد و اشکال نمی‌باشد. لذا مایه افتخار ما خواهد بود اگر دانشگاهیان و متخصصان و خبرگان صنعت ساخت، به ویژه در رشته پلسازی، در راستای ارتقا کیفیت ترجمه ارائه شده، ما را از نظرات، پیشنهادات و انتقادات سازنده خود بهره‌مند سازند.

علی مقصودی برمی – علی خان‌سفید – میلاد احتشامی معینی

Noavar33@yahoo.com

فصل اول

طراحی مفهومی[1]

من-چونگ تانگ[2]
گروه بین‌المللی تی. وای. لین[3]

۱-۱- مقدمه

هدف اصلی برای یک پل، انتقال بار ترافیک بر روی یک بازشو و یا ناپیوستگی در مسیر می‌باشد. انواع مختلف ترافیک برای یک پل می‌تواند شامل عابر پیاده، وسایل نقلیه، خطوط لوله، کابل‌ها، آب و قطار و یا ترکیبی از آنها باشد. یک بازشو می‌تواند بر روی یک بزرگراه، یک رودخانه، یک دره و یا هر نوع مانع فیزیکی دیگر ایجاد شود. نیاز به عبور ترافیک بر روی چنین بازشویی کارکرد یک پل را تعریف می‌کند. طراحی یک پل تنها هنگامی می‌تواند شروع شود که کارکرد آن به خوبی تعریف شده باشد. بنابراین پروسه احداث یک پل با دانش مهندسی پل شروع نمی‌شود. بلکه مانند راه‌ها و یا سیستم‌های زهکشی و یا سایر زیرساخت‌ها، بخشی از سیستم حمل‌ونقل بوده و سیستم حمل‌ونقل مولفه‌ای از تلاش‌های برنامه‌ریزی شهری و یا برنامه توسعه شهر می‌باشد. بنابراین کارکرد پل باید در این برنامه‌های اصلی تعریف گردد.

پلها باید "ایمن[4]، کاربردی[5]، اقتصادی[6] و با ظاهری زیبا[7] " باشند. در موضوع ایمنی هیچ سازشی پذیرفتنی نیست. یک پل باید تحت همه بارهایی که برای آن طرح می‌گردد امن باشد، در غیر اینصورت نمی‌تواند به روی ترافیک باز شود. در مورد کارکرد پل نیز نباید سازشی صورت پذیرد. برای مثال اگر چهار خط عبور لازم است، باید چهار خط عبور را فراهم کند. اما در موارد خاص، استفاده از عرض‌هایی کمی کمتر از مقادیر استاندارد برای خطوط عبوری ذکر شده در آئین نامه‌ها، تا جایی که ایمنی را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد قابل قبول می‌باشد. اقتصاد و زیبایی اما استانداردهای مشخصی ندارند. تعریفی تحت عنوان "هزینه صحیح" برای یک پل وجود ندارد. مسئله فوق از جایی به جای دیگر، از زمانی به زمان دیگر و بسته به موقعیت، متفاوت می‌باشد. هزینه یک پل در فلوریدا ممکن است به مقدار قابل توجهی با هزینه پل مشابهی که در نیویورک و یا شانگهای ساخته می‌شود، تفاوت داشته باشد. پس موضوع اقتصاد یک عنوان کاملاً نسبی می‌باشد.

1. Conceptual Design
2. Man-Chung Tang
3. T.Y. Lin International
4. Safe
5. Functional
6. Economical
7. Good-looking

تعریف زیبایی پل، حتی سخت‌تر از اقتصاد آن می‌باشد. برای مثال پـل Firth of Forth در اسـکاتلند، اغلب به عنوان زشت‌ترین پل دنیا، توسط برخی مهندسان مورد انتقـاد قـرار مـی‌گرفـت، در حالیکـه در همان زمان برخی دیگر آن را به عنوان یک پروژه شاخص زیبا و چشم نواز تحسین می‌کردند. برج ایفـل در پاریس، در زمان ساخت به طور بی رحمانه‌ای مورد حملـه بسـیاری از معمـاران، مهندسـان و سـایر دانشمندان قرار گرفت، درحالیکه امروزه به عنوان محبوب‌ترین جاذبه توریستی فرانسه شناخته می‌شود. در هر حال، مردم زیبایی برخی از پل‌ها را تحسین و برخی دیگر را نقد می‌کننـد. اگـر یـک پـل توسـط اکثریت مردم زیبا دانسته شود، آنگاه شاید بتوان گفت که آن پل زیبا می‌باشد. بنابراین، در یک مکـان و زمان مشخص، اعلام نظر در خصوص زیبایی یک پل بر اساس نظر غالب ممکن می‌باشد.

بنابراین، هدف در طراحی پل را می‌توان به طراحی یک پل امن، کـاربردی و زیبـا، بـا یـک سـرمایه مشخص تعریف کرد.

از آنجا که هر دو مورد اقتصاد و زیبایی بطور نسبی بیان می‌شوند، هیچ طراحی "عـالی" بـرای یـک پل وجود نخواهد داشت و تنها طراحی "مناسب" ممکن می‌باشد.

۱-۲- مراحل طراحی پل

فرآیند طراحی یک پل را می‌توان به چهار مرحله اصلی تقسیم‌بندی کرد: طراحی مفهومی[1]، طراحی مقدماتی[2]، طراحی تفصیلی[3] و طراحی اجرایی[4]. هـدف در طراحـی مفهـومی، یـافتن طـرح‌هـای عملـی متفاوت و تصمیم گیری در خصوص یک یا چند مفهـوم نهـایی بـرای بررسـی‌هـای تکمیلـی مـی‌باشـد (Nagai et al., 2004; Xiang, 2011). در طراحی مقدماتی، بهترین طرح از طرح‌هـای پیشـنهادی قسـمت قبل انتخاب و اجرا پذیری آن بررسی و در نهایت هزینه تخمین زده شده آن اصلاح می‌گردد. سـپس در طراحی تفصیلی، همه جزئیات سازه پل نهایی شده، به نحوی که مدارک کافی برای بارگذاری مناقصه و اجرای پل فراهم شده باشد. نهایتاً، در طرح اجرایی، رویه قدم به قدم برای اجرای پل تهیه می‌گردد. هـر کدام از مراحل باید به دقت ملزومات مراحل بعدی را در نظر بگیرند. برای مثال، طراحـی تفصـیلی بایـد در نظر داشته باشد که پل چگونه باید ساخته شود؛ طراحی مقدماتی علاوه بر آن باید در نظر بگیرد کـه جزئیات سازه‌ای چگونه خواهد بود؛ و طراحی مفهومی علاوه بر همه موارد فوق باید اطلاعـاتی را کـه در طراحی مقدماتی لازم خواهد بود را لحاظ بگرداند. این بدان معناست کـه طراحـی مفهـومی بایـد بطـور مناسب آنچه را که در تکمیل پل در یک محیط مشـخص لازم اسـت، شـامل ایجـاد یـک ایـده کلـی از هزینه‌ها و برنامه اجرا و همچنین زیبایی شناسی پل را در نظر بگیرد.

البته دقت شود که منظور این نیست که در طراحی مفهومی، مطالعات با جزئیات کامل روی مـوارد ذکرشده در بالا انجام گیرد، بلکه تجربه مهندسی می‌تواند در بررسی امکان پذیری بسیاری از ایـده‌هـای اساسی به ما کمک کند. برای مثال، نیازی نیست که محاسبات کامل انجام دهیم تا بفهمیم که یک پـل بتنی جعبه‌ای پیش تنیده با دهانه ۱۵۰ متر با شاهتیرهایی به عمق ۷.۵ متر عملی خواهد بود. درعوض، تجربه ما ناشی از کارکردن در سایر پروژه‌ها نشان می‌دهد که یک پل بتنی جعبه‌ای پیش‌تنیده با دهانـه متوسط، با نسبت عمق به دهانه مساوی یک بیستم (۱/۲۰) کار خواهد کرد. در مقابـل اگـر بخـواهیم از

1. Conceptual Design
2. Preliminary Design
3. Detailed Design
4. Construction Design

شاهتیر به عمق ۵ متر استفاده کنیم، در طراحی مفهومی نیازمند یک مطالعه دقیق خواهیم بود، چرا که عدد فوق بسیار دور از اعداد مرسوم است. تجربه در طراحی مفهومی دارای بیشترین اهمیت می‌باشد. به همین دلیل برای انجام طراحی مفهومی، تنها باید از مهندس با تجربه استفاده کرد.

بنابراین، طراحی مفهومی فرآیندی است که اغلب، تمام جزئیات پل در همه مراحل از شروع تا تکمیل، حداقل بر اساس تجارب مهندسی؛ اگر از محاسبات واقعی استفاده نشده باشد؛ را شامل خواهد شد. این کار به منظور اطمینان از اینکه مفهوم پیشنهادی تحت شرایط داده شده اجرایی خواهد بود، می‌باشد. در اینجا، اجراپذیری و امکان سنجی نباید تنها به پایداری سازه‌ای و مسائل اجرایی محدود گردد، بلکه باید چهار الزام اساسی یک پل شامل: امنیت، کاربردپذیری، اقتصاد و زیبایی‌شناسی را نیز در نظر بگیرد.

از نقطه نظری دیگر، طراحی مفهومی شروع طراحی پل می‌باشد و در واقع مرحله متقاعدسازی بوده که با یک لوح سفید شروع می‌گردد- پروسه‌ای خلاقانه که مهارت‌های نوآورانه‌ی یک مهندس را می‌آزماید.

متاسفانه، اهمیت طراحی مفهومی اغلب به درستی درک نمی‌شود و یا حتی کوچک شمرده می‌شود. در بسیاری از موارد، به دلیل زمان کم و محدودی که به انجام مطالعات مفهومی تخصیص داده شده است، مفاهیم ناپخته‌ای منتج خواهد شد که در آینده مشکلات فراوانی را ایجاد خواهد کرد. یک روش برای بهبود کیفیت مطالعات مفهومی این است که غالباً افراد ارشد و باتجربه، عهده دار این وظیفه سخت و مهم شوند.

۱-۳- تعیین ضوابط

۱-۳-۱- دستورالعمل‌ها و آئین‌نامه‌ها

دستورالعمل‌ها و آئین‌نامه‌ها اسناد قانونی هستند. این بدان معناست که طراحی یک پل باید تمام ضوابط دستورالعمل‌ها و آئین نامه‌های مربوط، نظیر "آئین نامه طراحی پلها به روش LRFD"، انتشار یافته توسط انجمن ادارات حمل و نقل و بزرگراه‌های ایالتی آمریکا (AASHTO) (AASHTO, 20012) را برقرار نماید. اما آئین‌نامه‌ها همواره به روز نیستند. در جهان درحال رشد امروز، بسیاری از ایده‌ها و توسعه‌های انجام شده ممکن است در آئین‌نامه‌های موجود گنجانده نشده باشد، چرا که پروسه اصلاح و یا معرفی قوانین جدید بسیار زمان بر می‌باشد. اغلب، مواردی پیش می‌آیند که نیازمند توجه ویژه می‌باشند.

مرحوم پروفسور تی. وای. لین (Lin and Burns, 1981) مهندسان را تشویق می‌کرد که "تنها دستور العمل‌ها و آئین‌نامه‌ها را دنبال نکنید، بلکه قوانین طبیعت را دنبال کنید". به همین دلیل در اینجا اضافه می‌کنیم که وظیفه یک مهندس پل تنها اقناع ضوابط آئین نامه نمی‌باشد، بلکه باید به درستی شرایط واقعی شامل محل و همچنین مردمی که قرار است پل به آنها سرویس بدهد را در نظر بگیرد.

همچنین، شرایطی وجود دارد که آئین‌نامه‌های موجود به آسانی نمی‌توانند پوشش دهند. یک نمونه از آن وزن واقعی کامیون‌ها می‌باشد. کامیون‌های دارای اضافه بار در برخی مکان‌ها، غیرمعمول نیست. این کامیون‌ها می‌توانند سبب ایجاد اضافه تنش در سازه پل شوند و عمر خستگی پل را کاهش دهند. برای مثال، عمر خستگی یک جزئیات فولادی جوشی تقریباً متناسب با معکوس توان سوم محدوده

تغییرات تنش می‌باشد. اگر کامیون‌ها تا ۱۵۰ درصد بارهای محور طراحی‌شان بارگذاری شوند، این مسئله عمر سرویس دهی آن جزئیات را به کمتر از ۳۰ درصد عمر طراحی شده کاهش می‌دهد. در نتیجه، یک طراحی ۱۰۰ ساله ممکن است به ۳۰ سال کاهش یابد.

یقیناً، ما باید ضوابط آئین‌نامه‌ها را برقرار نماییم؛ اما همچنین باید جلوتر رفته و شرایط واقعی را نیز در نظر بگیریم.

۱-۳-۲- معیارهای طراحی پروژه خاص

یک پل برای پاسخ به کارکردهای تعریف شده تحت شرایط محیطی و قیدهای داده شده طراحی می‌شود. طراحی می‌باید آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های حاکم را نیز دنبال کند. موارد فوق را مجتمعاً می‌توان ضوابط طراحی پل نامید. این ضوابط شامل و اما نه محدود به موارد زیر می‌باشد:

۱. نوع، حجم و بزرگی ترافیک که با پل انتقال می‌یابد.
۲. فواصل لازم بر حسب نوع ترافیک بر روی عرشه
۳. فواصل رفت و آمد زیر پل
۴. اثرات محیطی نظیر زلزله، باد، سیل و سایر وقایع طبیعی ممکن
۵. ترکیب زمین شناختی و مشخصات خاک در محل
۶. شرایط اقتصادی و یا منابع سرمایه موجود برای پروژه
۷. انتظارات ذی‌نفعان از شکل و مسائل زیبایی شناسی پروژه

هرکدام از این موارد می‌تواند طراحی را تحت تاثیر قرار دهد. و همچنین، تخطی از هر کدام از آنها می‌تواند طراحی را غیرقابل قبول نماید. بنابراین، شرایط باید قبل از آنکه مهندس شروع به طراحی مفهومی یک پل جدید نماید به طور شفاف و واضح تعریف شده باشند. یقیناً، پلی که ما می‌سازیم باید تمام کارکردهایی که برای آن طراحی شده است، شامل انتقال ایمن بارهای وارده به آن را میسر سازد. به علاوه، همواره بودجه‌ای وجود دارد که مقدار مجاز هزینه‌های ما را محدود می‌نماید. و نهایتاً اینکه، بسیار مهم است که پل چگونه با محیط فیزیکی اطراف خود از نظر زیبایی شناختی تطابق خواهد داشت.

این ضوابط طراحی بیانگر محدودیت‌های پلی که می‌سازیم می‌باشند. کارکرد پل، عرض و تراز عرشه را مشخص می‌کند، درحالیکه فواصل لازم برای ناوبری زیر پل و یا سایر فواصل آزاد لازم، مشخص کننده ارتفاع و طول دهانه هستند. در کنار محدودیت‌های ایجاد شده توسط شرایط ژئولوژیکی و توپوگرافیکی سایت احداث پل، این ضوابط هندسه اولیه سازه را مشخص می‌کند. هدف در طراحی مفهومی رسیدن به مناسب‌ترین شمای پل است که بتواند تمام ضوابط طراحی داده شده را برقرار نماید. در اینجا، مناسب بودن بر اساس الزامات "امنیت، کاربردی بودن، اقتصاد و مسائل زیبایی" تعیین می‌گردد.

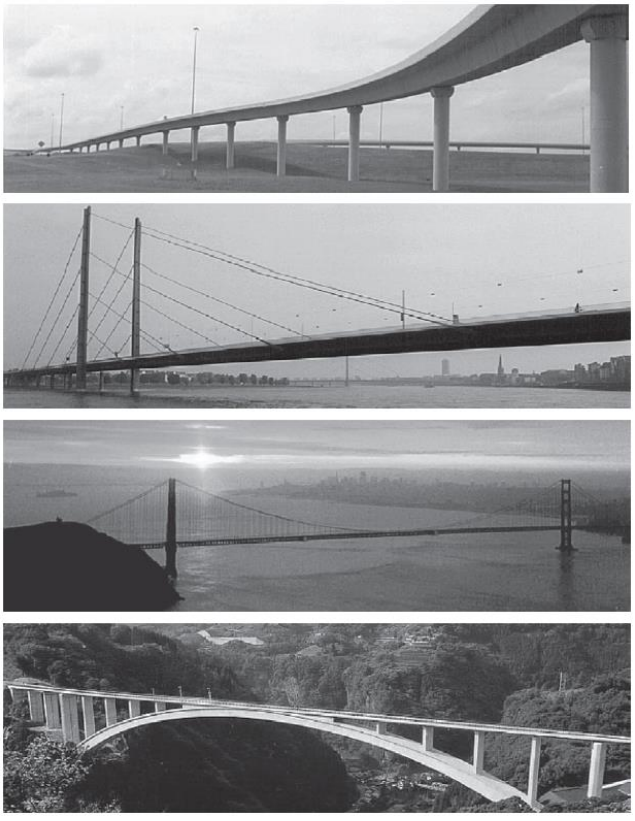
۱-۴- مشخصات سازه‌ای پل‌ها

۱-۴-۱- انواع پل

اولین مرحله در طراحی پل، انتخاب مناسب‌ترین سیستم برای پل است. می‌توان همه پلها را در چهار دسته اصلی تقسیم کرد: پل شاهتیری، پل قوسی، پل ترکه‌ای و پل معلق (شکل ۱-۱). البته

سیستم‌های ترکیبی متنوعی نیز وجود دارد، نظیر شمای ترکیبی پل ترکه‌ای و معلق، پیشنهاد شده توسط فرنز دیشینگر[1]، و پل شاهتیری مهارشده با کابل به صورت جزئی (Tang, 2007). برای ساده‌سازی می‌توان کلمه جزئی را از این سیستم حذف کرد و آن را پل شاهتیری مهارشده با کابل نامید. این سیستم ترکیبی از سیستم پل شاهتیری و هرکدام از سیستم‌های ذکر شده در بالا می‌باشد.

طبق آنچه متعارف است، پلهای شاهتیری و قوسی برای دهانه‌های کوتاه تا متوسط مناسب است، درحالیکه پل‌های ترکه‌ای برای دهانه‌های متوسط تا بلند و پل‌های برای دهانه‌های بسیار بلند پیشنهاد می‌گردند. بر این اساس، برخی مهندسان قوانینی برای برای محدوده طول دهانه برای هر کدام از این پل‌ها تعریف کرده‌اند. برای مثال در دهه ۱۹۶۰، حداکثر طول دهانه منطقی برای یک پل ترکه‌ای تقریباً ۴۵۰ متر و برای پل شاهتیری ۲۵۰متر می‌بود. این تئوری‌های قدیمی خیلی دوام نیاوردند چرا که پل‌های ترکه‌ای با دهانه‌های بیش از ۱۰۰۰ متر بعد ازآن احداث گردیدند.



شکل ۱-۱- چهار دسته اصلی پلها

با گذر زمان، با بهبودهایی که در مصالح و پیشرفت‌هایی که در تجهیزات و روش‌های ساخت انجام شده است، طول دهانه قابل قبول برای هر نوع سیستم پل به مقدار قابل توجهی افزایش یافته است. اما برحسب عبارات نسبی، مقایسه ذکرشده در بالا همچنان برقرار است، فقط مقادیر عددی محدوده

1. Franz Dishinger

دهانه‌ها تغییر کرده است.

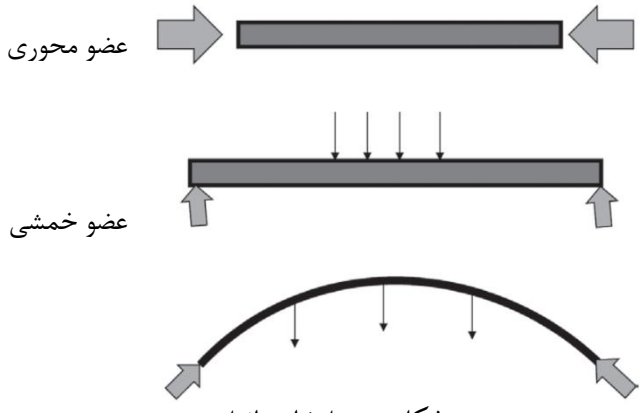
در هر حال، یک مهندس نباید توسط این فرضیات محصور گردد. در مقابل، برای یک مهندس مهم است که بتواند محدودیت‌های واقعی هر سیستم پل را براساس درک خود از آخرین مصالح و تجهیزات ساخت موجود در زمان اجرا تشخیص دهد. هنگامی که یک مصالح مناسب‌تر در آینده در دسترس باشد، مهندس باید بتواند این محدودیت‌ها را با استفاده از منطقی مشابه، ارزیابی مجدد کند. برای این امر، مهندس باید فهم خوبی از مشخصات سازه‌ها داشته باشد. در اینجا می‌توانیم به پایه‌ای‌ترین و اساسی‌ترین المان‌های سازه‌ای بپردازیم.

۱-۴-۲- اجزاء سازه‌ای اصلی

برخی سازه‌ها خیلی ساده به نظر می‌رسند، و برخی دیگر ممکن است خیلی پیچیده باشند. در هر حال، هر سازه‌ای از چهار نوع عضو سازه‌ای اصلی تشکیل شده که هرکدام مختص کارکرد خاصی هستند. این چهار عضو، اعضاء محوری، اعضاء خمشی، اعضاء خمیده و اعضاء پیچشی هستند. سه المان اول تقریباً برای تشکیل تمام سازه‌ها کافی هستند (شکل ۱-۲ را نگاه کنید). اکثر اعضاء پیچشی را می‌توان با استفاده از ترکیب سه عضو اول برقرار کرد. اما برای راحتی کار، داشتن اجزاء پیچشی فرآیند فکری ما را ساده‌تر خواهد کرد.

برای مثال، در یک پل ترکه‌ای، کارکرد غالب برای کابل‌ها، شاهتیر و پایلون، انتقال نیروی محوری می‌باشد. این موضوع برای پل‌های خرپایی نیز برقرار است. گاهاً اثرات موضعی ممکن است سبب ایجاد لنگر خمشی در این اعضا شوند، اما خیلی برجسته نبوده و می‌تواند به عنوان اثرات ثانویه در نظر گرفته شود. یک پل شاهتیری، نیروها را به شکل لنگر خمشی انتقال می‌دهد، پس یک عضو خمشی خواهد بود.

هنگامی که یک عضو محوری تغییر جهت می‌دهد، یک مولفه نیروی جانبی نسبت به نیروی محوری ایجاد خواهد کرد (شکل ۱-۳). این مولفه جانبی می‌تواند برای تحمل نیروهای جانبی مورد استفاده قرار گیرد. اگر نیروهای جانبی به اندازه کافی به هم نزدیک باشند، عضو سازه‌ای تبدیل به یک قوس شده و در واقع یک عضو خمیده ایجاد می‌گردد . دو نوع عضو خمیده اصلی وجود دارد: اگر نیروی محوری به صورت فشاری باشد، سازه مثل یک کمان و اگر از نوع کششی بوده، المان مشابه یک کابل معلق (مثل کابل اصلی یک پل معلق) خواهد بود.



شکل ۱-۲- اعضاء سازه‌ای