

۱۴۶۰۹۱۱

طراحی سازه‌های بتنی پیش‌تنیده

دکتر علیرضا خالو
استاد دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده مهندسی عمران



مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف

طراحی سازه‌های بتنی پیش‌ساخته

تألیف علیرضا خالو

مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف

طراحی جلد: الهه احمدی میرقاند

چاپ اول: ۱۳۹۵

شمارگان: ۱۰۰

بها: ۱۵۰۰۰۰ ریال

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است.

ISBN 978-964-208-166-0

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۱۶۶-۰

تلفن: ۶۶۰۱۳۱۲۹-۶۶۱۶۴۰۷۲-۶۶۱۶۴۰۷۰

دفتر مرکزی: خیابان آزادی- دانشگاه صنعتی شریف

دفتر فروش: میدان انقلاب- خیابان شهید منیر جالوید (اردیبهشت)- ساختمان بهمن- پلاک ۸۷- طبقه چهارم- واحد ۴۰۲

پست الکترونیکی: publishing@sharif.edu

تلفن: ۶۶۴۰۵۱۳۲-۶۶۹۶۷۸۹۶

فروش اینترنتی: www.fardabook.com

موضوع: تحلیل و طراحی سازه‌ها با بتن پیش‌ساخته.
شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی.
رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۵ خ/۶۸۳/۹. TA
رده‌بندی دیویی: ۶۹۳/۵
شماره کتابشناسی ملی: ۴۱۹۱۹۱۹

سروش‌نامه: خالو، علیرضا، ۱۳۳۵.
عنوان و نام پدیدآور: طراحی سازه‌های بتنی پیش‌ساخته/ تألیف علیرضا خالو.
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری: ۲۱۸ ص. مصور، جدول، نمودار.
شابک: 978-964-208-166-0
وضعیت فهرست نویسی: فیا.

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

هفت

پیشگفتار

۱	۱ مفاهیم اولیه
۱	۱.۱ مقدمه
۲	۲.۱ تأثیر پیش‌تنیدگی روی تنس‌های ه‌طه
۳	۳.۱ بارهای معادل
۵	۴.۱ پیش‌تنیدگی جزئی
۶	۵.۱ روش‌های پیش‌تنیدگی
۸	۶.۱ تغییرات در نیروی پیش‌تنیدگی
۱۰	۷.۱ مقایسه بتن پیش‌تنیده با بتن مسلح معمولی
۱۳	۲ مصالح
۱۳	۱.۲ مقدمه
۱۳	۲.۲ اهمیت فولاد با مقاومت بالا
۱۵	۳.۲ انواع فولادهای پیش‌تنیدگی
۱۶	۴.۲ خواص تنش-کرنش فولاد
۱۶	۵.۲ افتادگی فولاد
۱۷	۶.۲ انواع بتن

۱۹	۳ آنالیز خمشی
۱۹	۱.۳ مقدمه
۲۰	۲.۳ از دست‌دادگی بخشی از نیروی پیش‌تندگی
۲۱	۳.۳ تنش‌های خمشی الاستیک در تیرهای ترک‌نخورده
۲۹	۴.۳ تنش‌های خمشی مجاز
۳۰	۵.۳ بار ترک خوردگی
۳۲	۶.۳ مقاومت خمشی
۳۳	۷.۳ آنالیز مقاومت خمشی با استفاده از همسازی کرنش
۳۵	۸.۳ حرمان‌های ACI برای مقاومت خمشی
۴۳	۴ طراحی اعضای خمشی
۴۳	۱.۴ مقدمه
۴۴	۲.۴ طراحی خمش براساس تنش‌های مجاز
۵۶	۳.۴ تغییرات خروج از مرتبیت در طول دهانه
۶۰	۴.۴ انتخاب مقطع
۶۲	۵.۴ طراحی خمشی براساس بالانس بار
۶۹	۶.۴ کنترل ترک
۷۰	۷.۴ طول انتقال
۷۱	۵ برش و پیچش
۷۱	۱.۵ مقدمه
۷۱	۲.۵ برش و کشش قطری در تیرهای ترک‌نخورده
۷۴	۳.۵ معیارهای طراحی برش براساس ACI
۸۲	۴.۵ پیچش
۸۵	۶ از دست‌دادگی بخشی از نیروی پیش‌تندگی
۸۵	۱.۶ مقدمه
۸۶	۲.۶ تخمین جمع‌ی اتلاف‌ها
۸۷	۳.۶ تخمین اتلاف به‌صورت مجزا

۱۰۳	۷ تیرهای مرکب
۱۰۳	۱.۷ انواع ساخت مرکب
۱۰۵	۲.۷ مراحل بار
۱۰۵	۳.۷ خواص مقطع و تنش‌های خمشی الاستیک
۱۱۳	۴.۷ مقاومت خمشی
۱۱۵	۵.۷ انتقال برش افقی
۱۱۸	۶.۷ برش و کشش قطری تیر مرکب

۱۱۹	۸ تیرهای پیوسته و قاب‌ها
۱۱۹	۸ مقایسه دهانه ساده با پیوسته
۱۲۰	۲.۸ یروفیل تاندن‌ها و ترتیب تنش
۱۲۴	۳.۸ آنالیز الاستیک اثرات پیش‌تنیدگی
۱۲۸	۴.۸ آنالیز برش و بدل
۱۳۳	۵.۸ انتقال خطی
۱۳۵	۶.۸ تاندن‌های هم‌آهن
۱۳۶	۷.۸ تنش‌های بتن در محدوده الاستیک
۱۳۷	۸.۸ مقاومت خمشی
۱۳۷	۹.۸ باز توزیع ممان
۱۳۸	۱۰.۸ قاب‌های نامعین

۱۴۱	۹ افت در اعضای بتنی پیش‌تنیده
۱۴۱	۱.۹ مقدمه
۱۴۲	۲.۹ اصول کلی محاسبات
۱۴۵	۳.۹ روش تقریبی محاسبه افت
۱۴۶	۴.۹ ممان اینرسی مقطع ترک‌خورده
۱۴۷	۵.۹ روش دقیق محاسبه افت با استفاده از بازده‌های زمانی پله‌ای

۱۵۹	۱۰ آنالیز ممان-انحنای تیرهای چسبیده
۱۵۹	۱.۱۰ فرضیات

۱۷۵

پیوست‌ها

۱۷۷

پیوست (الف)

۱۸۳

پیوست (ب)

۱۸۷

پیوست (ج)

۱۹۳

مراجع

۱۹۵

واژه‌نامه انگلیسی-فارسی

۲۰۱

واژه‌نامه فارسی-انگلیسی

۲۰۷

فهرست راه‌ما

پیشگفتار

از زمانی که بتر به طو مسترده به عنوان مصالح ساختمانی به کار گرفته شد، ضعف مقاومت کششی آن همواره مشکل ساز بوده است. فولاد به عنوان اولین راه حل به کار گرفته شد. فولاد، مقاومت کششی و بتن قایم فنی مقطع را به وجود می آورد و در ترکیب با هم مصالح سازه ای مناسبی را ایجاد می کند. اما هنوز سازه ضعف بتن در کشش و کارا نبودن قسمت عمده بتن، به علت ترک خوردگی زود هنگام تحت بار سربرسی مطرح بود. استفاده از پیش تنیدگی، یا ایجاد فشار اولیه روی مقطع، روش مناسبی به نظر می رسید. بدین صورت که با اعمال کشش اولیه در فولاد، هنگام رهاسازی آن فشاری به مقطع بتن وارد می شود که می تواند تا حدودی (و حتی به طور کامل) کشش به وجود آمده در اثر بارهای اعمالی را به وجود آورد. ولی تا اواسط قرن بیستم به دلیل اتلاف زیاد نیروی پیش تنیدگی، این روش جنبه کاربردی پیدا نکرد. در سال ۱۹۴۰ یک مهندس فرانسوی به نام اوژن فرسینه با به کارگیری فولاد سازه بت بالا بر این مشکل فائق آمد. از آن زمان استفاده از بتن پیش تنیده، به خصوص در پل ها، دهانه های بلند ساختمان ها، مزایای فراوانی به همراه داشته است و روز به روز کاربرد آن بیشتر می شود. در چند دهه اخیر استفاده از روش های مختلف پیش تنیدگی در اتصالات و قاب ها و نیز در مقاوم سازی سازه ها مطرح شده و به اجرا در آمده است.

مجموعه حاضر با عنوان طراحی سازه های بتی پیش تنیده، به آنالیز و طراحی اعضای بتی پیش تنیده براساس آئین نامه ACI 318 می پردازد. در این کتاب سعی شده است، مطالب در عین خلاصه بودن، کارایی لازم را داشته باشند تا مهندسان و دانشجویان با مفهوم بتن پیش تنیده آشنا شوند. این کتاب برای تدریس در دوره های تحصیلات تکمیلی کارشناسی ارشد و دکترای مهندسی عمران با گرایش های سازه، زلزله و سازه های هیدرولیکی مناسب است.

فصول ۱ و ۲ جهت آشنایی با بتن پیش‌تنیده، مقایسه با بتن معمولی، روش‌های پیش‌تنیدگی، و مصالح به‌کار برده شده در آن است. در فصل ۳ آنالیز خمشی تیرهای پیش‌تنیده ارائه شده است. فصل ۴ شامل روش‌های طراحی خمشی تیرهای پیش‌تنیده است. در فصل ۵ به بررسی اثر برش و پیچش در تیرهای پیش‌تنیده پرداخته می‌شود. فصل ۶ مربوط به یک مفهوم مهم و درواقع بررسی مشکل ابتدایی استفاده از پیش‌تنیدگی، یعنی تخمین میزان اتلاف نیروی پیش‌تنیدگی اولیه است. در فصل ۷ مفهوم تیر مرکب و استفاده از تیر پیش‌ساخته پیش‌تنیده همراه با دال بتنی معمولی (که در عمل بسیار متداول می‌باشد) بیان شده است. فصل ۸ نیز شامل بررسی اثر پیش‌تنیدگی روی تیرهای پیوسته است. در فصل ۹ به بحث افت و روش‌های محاسبه آن در طی زمان در اعضای پیش‌تنیده پرداخته شده است. در فصل ۱۰ یک روش کاربردی و گام‌به‌گام برای آنالیز ممان-انحنای ارائه شده است. در فصل ۱۱ کتاب، از روابط و مفاهیم آیین‌نامه ACI 318 استفاده به عمل آمده است. پیوست‌ها: اراض فولادهای پیش‌تنیدگی، مقاطع استاندارد و نیز مسائل نمونه آورده شده است. از مهندسان، آریان و این معماران تربیتی و آل‌رسول و سرکار خانم رحیمی که در تهیه اولیه شکل‌ها و حروفچینی این کتاب همکاری نموده‌اند، قدردانی می‌کنم.

امید است این مجموعه کمی برای آشنایی و کاربرد بیشتر و بهتر سازه‌های بتن پیش‌تنیده باشد. پیشاپیش از نظرات و پیشنهادها تمامی خوانندگان جهت رفع کاستی‌های موجود، تشکر می‌شود.

علیرضا خالو

بهار ۹۵