به نام یکتا مهندس هستی

سری عمران

سخن مدیر تألیف

سپاس خداوند متعال را که در این سال‌ها لطف خود را از مؤسسه سری عمران دریغ نکرده و به ما انگیزه‌ای دو چندان داده است تا با **تولید کتاب‌ها و برگزاری کلاس‌های ویژه آزمون نظام مهندسی** و کارشناسی ارشد، قدمی هر چند کوچک برای موفقیت شما مهندسین عزیز بردارد.

پس از ایجاد تغییرات اساسی در آیین‌نامه‌های رسمی کشور (مقررات ملی ساختمان)، تصمیم گرفتیم که با تلاش شبانه‌روزی، فعالیت‌های مؤسسه سری عمران را در زمینه تولید کتاب و برگزاری کلاس‌های آزمون نظام مهندسی ارتقاء دهیم که خلاصه این فعالیت‌ها به شرح زیر است:

کتاب‌های ویژه آزمون نظام مهندسی

با تألیف **نسل جدید** کتاب‌های نظام مهندسی توسط اساتید برجسته و ممتاز، تلاش کرده‌ایم که مجموعه‌ای کم نقص در اختیار شما قرار گیرد. در این کتاب‌ها، ما به‌دنبال ویژگی‌های زیر بوده‌ایم:

۱- با بیانی ساده و روان، کلیه مفاهیم مورد نیاز را آموزش داده و در کنار آن درک و قضاوت مهندسی شما را افزایش دهیم.

۲- با توجه به ابهامات نسبتاً زیاد در آیین‌نامه‌های جدید، با حساسیت خاصی بندهای آیین‌نامه‌ها را شرح داده و سعی کرده‌ایم که کاربرد این بندها، با ارائه مثال‌های متنوع، کاملاً شفاف و واضح شوند.

۳- در یک فرایند سخت و دشوار، تست‌های آزمون سال‌های گذشته (از سال ۸۰ به بعد) را که بر مبنای آیین‌نامه‌های قدیم بوده است، با کمترین تغییر ممکن بر مبنای ویرایش جدید آیین‌نامه‌ها حل کرده و پاسخ تشریحی آنها را نیز با توضیحات کامل آورده‌ایم.

۴- با ارائه فهرست مطالب همراه با جزئیات کامل آن در ابتدای کتاب، عملاً به داوطلبان کمک کرده‌ایم تا در جلسه آزمون، سریعتر مطالب مورد نیاز خود را برای حل سؤالات پیدا کنند. همانطور که می‌دانید این آزمون به‌صورت کتاب باز (open book) برگزار می‌شود و با استفاده از این فهرست، می‌توانید در کوتاهترین زمان ممکن، مطلب مورد نیاز خود در کتاب را پیدا کنید.

کلاس‌های آمادگی آزمون نظام مهندسی

استقبال فراوان و بی‌نظیر مهندسین عزیز از کلاس‌های آمادگی آزمون نظام مهندسی و کارشناسی ارشد مؤسسه سری عمران در سال گذشته و همچنین نتایج درخشان قبولی شرکت‌کنندگان در این کلاس‌ها، باعث شد تا مؤسسه با بازنگری کلی، برنامه‌ریزی دقیق و هدفمندی را جهت برگزاری هر چه بهتر کلاس‌های آمادگی آزمون محاسبات و نظارت انجام دهد. شاخص‌ترین ویژگی این کلاس‌ها به شرح زیر است:

۱- تمامی مطالب مورد نیاز جهت آزمون نظام مهندسی، توسط اساتید برجسته کشور، به‌طور کامل تدریس می‌شوند و شیوه تدریس اساتید به‌گونه‌ای است که شما می‌توانید در کمترین زمان ممکن، به مطالب احاطه پیدا کنید.

۲- با آموزش نکات و مفاهیم تستی برای پاسخ‌دهی سریع به سؤالات، عملاً یک گام جلوتر از سایر داوطلبین هستید.

۳- با حل کلیه تست‌های آزمون‌های نظام‌مهندسی سالیان گذشته و همچنین حل تست‌های تألیفی مکمل، دید بسیار خوبی از نحوه طرح سؤال در آزمون پیدا می‌کنید.

قابل ذکر است که جهت کسب اطلاعات بیشتر از کلاس‌ها و کتاب‌های مؤسسه سری عمران می‌توانید به سایت **www.serieomran.com** مراجعه نمایید.

امید است که تلاش مؤسسه سری عمران مورد قبول مهندسان گرامی قرار گیرد. ارائه پیشنهادهای سازنده شما دوستان و همراهان گرامی، مجموعه را بهتر و پربارتر کرده و ما را که به دنبال کیفیت برتر هستیم یاری می‌کند.

به یادتان هستیم، به یادمان باشید

محمد آهنگر

فهرست مطالب

فصل نهم: طراحی مقاطع مختلط فولادی و بتنی

قسمت اول: مفاهیم اولیه در مورد مقاطع مختلط ۸
A-۱- مقاومت اسمی اعضای با مقطع مختلط ۸
A-۲- محدودیت‌های مصالح در اعضای با مقطع مختلط ۹
قسمت دوم: اعضای خمشی با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن به همراه برشگیر ۱۰
B-۱- بررسی مفاهیم مقدماتی ۱۰
B-۲- پهنای مؤثر و حداقل ضخامت دال بتنی ۱۲
B-۳- مقاومت در برابر بارهای حین اجرا ۱۳
B-۴- محاسبهٔ مقاومت خمشی مثبت مقاطع مختلط دارای برشگیر با عملکرد مختلط کامل ۱۴
B-۵- محاسبهٔ مقاومت خمشی منفی در تیرهای مختلط با عملکرد مختلط کامل ۲۶
قسمت سوم: طراحی برشگیرها در تیرهای مختلط ۳۲
C-۱- محاسبهٔ مقاومت برشی اسمی یک برشگیر ۳۲
C-۲- مقاومت برشی موردنیاز بین تیر فولادی و دال بتنی ۳۴
قسمت چهارم: مقاومت خمشی در تیرهای با عملکرد مختلط ناقص و محاسبه تغییر شکل قائم اعضای خمشی مختلط ۴۴
D-۱- تعیین مقاومت خمشی تیرهای با عملکرد مختلط ناقص در نواحی لنگر خمشی مثبت ۴۴
D-۲- تعیین مقاومت خمشی تیرهای با عملکرد مختلط ناقص در نواحی لنگر خمشی منفی ۴۶
D-۳- تغییر شکل‌های قائم و تغییر مکان‌های جانبی اعضای خمشی مختلط ۴۷
قسمت پنجم: طراحی مقاطع مختلط محاط در بتن ۴۸
E-۱- محدودیت‌ها ۴۸
E-۲- محاسبهٔ مقاومت فشاری موجود اعضای محوری با مقطع مختلط محاط در بتن ۴۸
E-۳- محاسبهٔ مقاومت کششی موجود اعضای محوری با مقطع مختلط محاط در بتن ۵۲
E-۴- مقاومت خمشی موجود مقاطع مختلط محاط در بتن ۵۳
قسمت ششم: طراحی مقاطع مختلط پر شده با بتن ۵۶
F-۱- محدودیت‌ها ۵۶
F-۲- مقاومت فشاری موجود اعضای مختلط پر شده با بتن ۵۶
F-۳- محاسبهٔ مقاومت کششی موجود اعضای مختلط پرشده با بتن ۵۹
F-۴- محاسبهٔ مقاومت خمشی موجود اعضای مختلط پرشده با بتن ۵۹
قسمت هفتم: انتقال بار در اعضای با مقطع مختلط محاط در بتن و پر شده با بتن ۶۳
G-۱- الزامات عمومی ۶۳
G-۲- مقاومت برش طولی موردنیاز در مقاطع مختلط محاط در بتن و پرشده با بتن ۶۳
G-۳- مقاومت برش طولی موجود در مقاطع مختلط محاط در بتن و پرشده با بتن ۶۶
G-۴- برشگیرها در ستون‌های مختلط ۶۹
G-۵- کنترل فشار هیدرواستاتیک در مقاطع مستطیلی پر شده با بتن ۷۱

فصل دهم: بررسی ضوابط پیچ‌ها

قسمت اول: آشنایی با مفاهیم اولیه در پیچ‌ها و اتصالات پیچی ۷۴
A-۱- بررسی انواع پیچ‌ها ۷۴
A-۲- میله‌های دندانه‌شده و میل مهارها ۷۵
A-۳- بررسی انواع اتصالات پیچی ۷۵
A-۴- انواع سوراخ‌های مورد استفاده در اتصالات پیچی ۷۹
A-۵- ضوابط فواصل سوراخ‌ها در اتصالات پیچی ۸۱
قسمت دوم: طراحی اتصالات پیچی تحت اثر بارگذاری‌های مختلف ۸۲
B-۱- محاسبهٔ مقاومت برشی در اتصالات پیچی ۸۳
B-۲- محاسبهٔ مقاومت کششی در اتصالات پیچی ۹۰
B-۳- طراحی اتصالات پیچی تحت اثر توأم نیروی کششی و نیروی برشی ۹۳
B-۴- اتصالات پیچی تحت اثر لنگر پیچشی خالص ۱۰۹
B-۵- طراحی اتصالات پیچی تحت اثر توأم نیروی برشی و لنگر پیچشی ۱۱۲
B-۶- ورق‌های پرکننده ۱۲۱
قسمت سوم: طراحی اجزای اتصال‌دهنده ۱۲۴
C-۱- کنترل مقاومت برش قالبی ۱۲۴
C-۲- مقاومت پارگی موجود در حدفاصل بین سوراخ‌ها و نیز در فاصلهٔ بین سوراخ‌ها تا لبهٔ قطعات ۱۲۹
C-۳- مقاومت اتکایی موجود در جدار سوراخ‌ها ۱۳۲
C-۴- مقاومت کششی موجود اجزای اتصال‌دهنده و نواحی تأثیرپذیر اعضا ۱۳۶

فصل یازدهم: طراحی اتصالات جوشی

قسمت اول: بررسی مفاهیم اولیه در جوش گوشه ۱۴۰
A-۱- محاسبهٔ پارامترهای موردنیاز در جوش گوشه ۱۴۰
A-۲- مقاومت موجود جوش گوشه ۱۴۷
A-۳- تعیین مقاومت موجود فلز پایه در یک اتصال جوشی ۱۵۰
A-۴- ارزش جوش گوشه ۱۵۸
قسمت دوم: طراحی جوش‌های گوشه در اتصالات پرکاربرد ۱۶۰
B-۱- طراحی جوش گوشه تحت اثر برش خالص ۱۶۰
B-۲- جوش گوشه تحت اثر لنگر پیچشی تنها ۱۶۵
B-۳- جوش گوشه تحت اثر توأم لنگر پیچشی و نیروی برشی ۱۶۸
B-۴- جوش گوشه تحت اثر توأم برش و خمش ۱۷۵
B-۵- جوش گوشه تحت اثر کشش و خمش ۱۸۰
B-۶- جوش گوشه اتصال بال به جان در تیر ورق‌ها ۱۸۴
B-۷- ترکیب پیچ و جوش ۱۸۶
قسمت سوم: بررسی جوش‌های شیاری، انگشتانه و کام ۱۸۹
C-۱- بررسی جوش شیاری ۱۸۹
C-۲- جوش کام و انگشتانه ۱۹۳

فصل دوازدهم: تأثیر بار متمرکز بر روی بال و جان اعضای فولادی

قسمت اول: الزامات ویژه بال‌ها و جان مقاطع تحت اثر بارهای متمرکز ۱۹۸
A-۱- مفاهیم اولیه ۱۹۸
A-۲- کنترل خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی ۱۹۸
A-۳- کنترل تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری ۲۰۳
A-۴- کنترل چروکیدگی موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری ۲۰۷
A-۵- کنترل کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری ۲۱۰
A-۶- کنترل کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری ۲۱۳
A-۷- کنترل برش در چشمهٔ اتصال ۲۱۶
قسمت دوم: مقررات تکمیلی سخت‌کننده ها، ورق های پیوستگی، ورق‌های مضاعف و بررسی پایداری ورق‌های چشمه اتصال ۲۲۰
B-۱- مقررات تکمیلی برای سخت‌کننده‌ها در مقابل نیروهای متمرکز در انتهای آزاد تیرها ۲۲۰
B-۲- الزامات تکمیلی برای ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) و سخت‌کننده‌های قطری در چشمهٔ اتصال ۲۲۳

فصل سیزدهم: مفاهیم اولیه طرح لرزه‌ای و ضوابط سیستم‌های مهاربندی

قسمت اول بررسی مفاهیم اولیه ضوابط طرح لرزه‌ای ۲۲۸
A-۱- بررسی مفهومی ضوابط طرح لرزه‌ای ۲۲۸
A-۲- ناحیه حفاظت شده اعضاء ۲۳۰
A-۳- تشخیص ناحیهٔ حفاظت شده در سیستم‌های مختلف باربر جانبی ۲۳۱

A-۴- بررسی پارامترهای R_y و R_t فولاد و R_c بتن و C_{pr} و کاربردهای آنها در ضوابط طراحی لرزه‌ای ۲۳۸
A-۵- محاسبهٔ نیروهای داخلی در محل تشکیل مفصل پلاستیک تیرها براساس روش LRFD ۲۴۱
A-۶- بارها و ترکیبات بارگذاری ۲۴۳
A-۷- الزامات طراحی لرزه‌ای ستون‌ها ۲۴۵
A-۸- الزامات لرزه‌ای ستون‌های مختلط ۲۴۸

قسمت دوم: ضوابط لرزه‌ای سیستم‌های مهاربندی همگرا ۲۵۲

B-۱- سیستم‌های مهاربندی همگرا ۲۵۲
B-۲- ضوابط قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه (SCBF) ۲۵۳
B-۳- ضوابط قاب‌های مهاربندی شده همگرای معمولی (OCBF) ۲۶۸

قسمت سوم: ضوابط لرزه‌ای سیستم‌های مهاربندی واگرا ۲۷۴

C-۱- ضوابط لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده واگرای ویژه ۲۷۴
C-۲- محدودیت‌های کلی تیرها، ستون‌ها و مهاربندی‌ها ۲۷۵
C-۳- کنترل مقاومت برشی تیر پیوند براساس روش LRFD ۲۷۷
C-۴- کنترل مقاومت برشی تیر پیوند براساس روش ASD ۲۸۰
C-۵- کنترل طول تیر پیوند در روش LRFD ۲۸۲
C-۶- کنترل طول تیر پیوند در روش ASD ۲۸۵
C-۷- کنترل دوران تیر پیوند ۲۸۶
C-۸- کنترل سایر المان‌های لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شدهٔ واگرا (تیر خارج از ناحیهٔ پیوند، ستون، مهاربند و اتصالات) ۲۸۹
C-۹- اتصالات تیر پیوند و تیر خارج از ناحیهٔ پیوند به ستون ۲۹۰
C-۱۰- اتصالات مهاربند در قاب‌های مهاربندی شده واگرا ۲۹۲
C-۱۱- سخت‌کننده‌های تیرهای پیوند ۲۹۲
C-۱۲- الزامات لرزه‌ای قاب‌های خمشی خرپایی ویژه (STMF) ۳۰۱
C-۱۳- الزامات لرزه‌ای سیستم کنسولی فولادی ویژه (SCCS) ۳۰۴
C-۱۴- مهاربندهای چند ردیفی در یک طبقه (MT-OCBF) ۳۰۸
C-۱۵- الزامات لرزه‌ای مهاربندهای کمانش تاب (BRBF) ۳۱۰
C-۱۶- الزامات لرزه‌ای دیوارهای برشی فولادی ویژه (SPSW) ۳۱۵
C-۱۷- الزامات لرزه‌ای قاب‌های خمشی مختلط ویژه (C-SMF) ۳۲۴
C-۱۸- الزامات لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده و دیوار برشی مختلط ۳۲۸
C-۱۹- الزامات لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده واگرای مختلط (C-EBF) ۳۳۱
C-۲۰- الزامات لرزه‌ای دیوارهای برشی مختلط ویژه (C-SSW) ۳۳۲

فصل چهاردهم: الزامات لرزه‌ای سیستم‌های باربر جانبی قاب خمشی

قسمت اول: بررسی مفاهیم اولیه در سیستم‌های باربر جانبی قاب‌های خمشی ۳۴۰

A-۱- انواع سیستم‌های باربر جانبی قاب خمشی ۳۴۰
A-۲- محدودیت تیرها و ستون‌ها در قاب‌های خمشی ۳۴۱
A-۳- تحلیل قاب خمشی با توجه به محل مفصل پلاستیک در تیرها ۳۴۲
A-۴- مهار جانبی تیرها در قاب‌های خمشی متوسط و ویژه ۳۴۵

قسمت دوم: محاسبه مقاومت‌های مورد نیاز و طراحی مقطع تیرها و اتصالات آنها ۳۵۰

B-۱- مقاومت‌های مورد نیاز تیرها در قاب‌های خمشی متوسط و ویژه ۳۵۰
B-۲- طراحی اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی ۳۵۲

قسمت سوم: کنترل نسبت لنگر خمشی ستون به تیر در قاب‌های خمشی ویژه ۳۶۱

C-۱- نسبت لنگر خمشی ستون به تیر در قاب‌های خمشی ویژه ۳۶۱

فصل پانزدهم: طراحی لرزه‌ای وصله ستون‌ها، چشمه اتصال و اتصالات گیردار پیش تأییدشده

قسمت اول: الزامات طراحی لرزه‌ای ورق‌های وصله ۳۷۶

A-۱- الزامات طراحی لرزه‌ای وصله ستون‌ها ۳۷۶
A-۲- موقعیت وصله ستون‌ها ۳۸۰
A-۳- جزئیات بندی وصلهٔ ستون‌ها ۳۸۱
A-۴- الزامات طراحی لرزه‌ای وصله تیرها ۳۸۱

قسمت دوم: الزامات لرزه‌ای ورق تقویتی چشمه اتصال (ورق مضاعف) و ورق‌های پیوستگی ۳۸۵

B-۱- الزامات لرزه‌ای ورق‌های پیوستگی ۳۸۵
B-۲- الزامات لرزه‌ای ورق تقویتی چشمهٔ اتصال (ورق مضاعف) ۳۸۹
B-۳- الزامات تکمیلی برای ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) و سخت‌کننده‌های قطری در چشمهٔ اتصال ۳۹۱
B-۴- برش در چشمهٔ اتصال ۳۹۲

قسمت سوم: اتصالات گیردار پیش تأیید شده ۳۹۶

C-۱- اتصالات گیردار پیش تأیید شده ۳۹۶

فصل شانزدهم: ضوابط طراحی کف ستون‌ها و کنترل مقاومت اتکایی سطوح متکی به هم

قسمت اول: طراحی صفحات کف ستون براساس روش ضریب بار و مقاومت ۴۳۰

A-۱- مفاهیم کلی طراحی کف‌ستون ۴۳۰
A-۲- طراحی کف ستون تحت اثر نیروی محوری خالص ۴۳۰
A-۳- طراحی کف ستون تحت اثر توأم خمش و نیروی محوری ۴۳۹

قسمت دوم: طراحی صفحات کف ستون براساس روش مقاومت مجاز ۴۴۲

B-۱- طراحی کف ستون تحت اثر نیروی محوری خالص ۴۴۲
B-۲- طراحی کف ستون تحت اثر توأم خمش و نیروی محوری ۴۴۴

قسمت سوم: مقاومت اتکایی سطوح متکی به هم ۴۴۶

C-۱- مقاومت اتکایی سطوح متکی به هم ۴۴۶
C-۲- کنترل مقاومت اتکایی سطوح متکی به هم براساس روش LRFD ۴۴۶
C-۳- کنترل مقاومت اتکایی سطوح متکی به هم براساس روش مقاومت مجاز ۴۴۷

قسمت چهارم: مقاومت اتکایی سطوح متکی به هم ۴۴۶

D-۱- مقاومت اتکایی سطوح متکی به هم ۴۴۶

فصل هفدهم: الزامات تحلیل و طراحی برای تأمین پایداری در سازه‌های فولادی

قسمت اول: کلیاتی درباره اصول تحلیل سازه‌ها در سازه‌های فولادی ۴۵۴

A-۱- بررسی عوامل مؤثر بر آنالیز پایداری در سازه‌های فولادی ۴۵۴
A-۲- روش‌های تحلیل مرتبهٔ دوم ۴۵۵

قسمت دوم: مروری بر روش‌های تحلیل و طراحی ۴۵۹

B-۱- محدودیت‌ها و الزامات روش تحلیل مستقیم ۴۵۹
B-۲- محدودیت‌ها و الزامات روش طول مؤثر ۴۶۴
B-۳- تحلیل مرتبه دوم از طریق تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدیدیافته ۴۶۴

سؤالات آزمون‌های نظام مهندسی از سال ۱۴۰۲ به بعد ۴۷۰

سخـن مؤلفین

سـازه‌های فولادی یکی از مهمترین دروس رشتهٔ مهندسی عمران است که یادگیری مفهومی و عمیق آن، برای موفقیت در آزمون نظام مهندسی لازم و ضروری می‌باشد.

پس از ایجاد تغییرات اساسی در مبحث دهم مقررات ملّی ساختمان در سال جاری، کمبود یک منبع قوی که بندهای آیین‌نامه را به شکل کاربردی و مثال‌محور بررسی کند، احساس می‌شد. از این‌رو تصمیم گرفتیم تا با یک کار منسجم، کتابی در دو جلد به شما عزیزان ارائه کنیم.

ویژگی‌های این کتاب به شرح زیر است:

۱- ارائهٔ یک نگاه جدید در درس فولاد که با طبقه‌بندی دقیق آیین‌نامه همراه با درسنامه‌های مفهومی، باعث افزایش سرعت یادگیری شما می‌شود.

۲- ایجاد یک روند جدید در آموزش مطالب، با کمک پرسـیدن چند سؤال مفهومی در شروع هر بحث که درک شما را از مطالب بسیار بالا می‌برد.

۳- جمع‌آوری مثال‌های بسیار متنوع تألیفی در هر فصل که باعث افزایش چشمگیر مهارت شما در حل مسائل می‌شود.

۴- آوردن کلیهٔ سؤالات غیرتکراری آزمون‌های نظام مهندسی گذشته، همراه با تغییر آنها منطبق بر آیین‌نامهٔ جدید.

۵- ارائهٔ دیدهای مهندسی کاربردی و ارجاع مطالب به بندهای آیین‌نامه.

با مطالعهٔ این کتاب متوجه خواهید شد که سازه‌های فولادی، درسی بسیار جذاب است و با نگاه جدید ارائه شده، می‌توان سؤالات فولاد را در آزمون نظام مهندسی به خوبی حل کرد.

فهرست مهمترین مراجع مورد استفاده در نگارش این کتاب به شرح زیر است:

۱. مبحث دهم مقررات ملّی ساختمان، «طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی»، ویرایش پنجم، وزارت راه و شهرسازی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۴۰۱.

۲. مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، «بارهای وارد بر ساختمان» ویرایش چهارم، وزارت راه و شهرسازی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۸.

۳. ازهری، مجتبی و میرقادری، سید رسول، طراحی سازه‌های فولادی *(LRFD-ASD)* جلدهای پنجم و ششم، انتشارات ارکان دانش، ۱۳۹۷.

۴. اصغری، اباذر، «مجموعه ۴ جلدی اصول و مبانی طراحی سـازه‌های فولادی»، انتشـارات دانشـگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۶.

۵. فنائـی، نادر و قلمزن اصفهانی، فرزانه، «طراحی انواع اتصالات سـازه‌های فولادی به روش ضرایب بار و مقاومت»، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۵.

در این کتاب تلاش بی‌وقفه‌ای در خصوص اطمینان از صحت مطالب، نحوهٔ نگارش و ترسیم اَشکال انجام شده است، اما با این وجود خوانندگان عزیز می‌توانند هرگونه پیشنهاد، تصحیحات و نظرات سازندهٔ خود را به نشانی مؤسسهٔ سری عمران و یا آدرس ایمیل *serieomran@yahoo.com* ارسال نمایند.

نادر فنائی، حسین صباغیان طوسی

مرداد ۱۴۰۲

سری عمران

فصل نهم

مقاطع مختلط

مقاطع مختلط

- قسمت اول: مفاهیم اولیه در مورد مقاطع مختلط
- قسمت دوم: اعضای خمشی با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن به همراه برشگیر
- قسمت سوم: طراحی برشگیرها در تیرهای مختلط
- قسمت چهارم: مقاومت خمشی در تیرهای با عملکرد مختلط ناقص و محاسبه تغییر شکل قائم اعضای خمشی مختلط
- قسمت پنجم: طراحی مقاطع مختلط محاط در بتن
- قسمت ششم: طراحی مقاطع مختلط پر شده با بتن
- قسمت هفتم: انتقال بار در اعضای با مقطع مختلط محاط در بتن و پر شده با بتن

مقطع مختلط به مقاطعی اطلاق می‌شود که به منظور ایجاد یک عملکرد مرکب بین بتن و فولاد در آنها از پروفیل‌های فولادی به همراه یک بخش بتن‌آرمه استفاده شده است.

A-۱- مقاومت اسمی اعضای با مقطع مختلط

بر مبنای بند (۱-۱-۲-۸-۱)

مقاومت اسمی اعضای با مقطع مقطع مختلط براساس یکی از روش‌های زیر تعیین می‌گردد.

- روش توزیع تنش پلاستیک
- روش سازگاری کرنش
- روش توزیع تنش الاستیک
- روش تنش - کرنش مؤثر

در محاسبهٔ مقاومت اسمی اعضای با مقطع مختلط، از مقاومت کششی بتن صرف‌نظر می‌شود. آثار کمانش موضعی اجزای بخش فولادی در محاسبهٔ مقاومت اسمی اعضای مختلط با مقطع فولادی پرشده با بتن باید مطابق ضوابط فصل سوم در نظر گرفته شود. در اعضای مختلط با مقطع مختلط محاط در بتن، لزومی به در نظر گرفتن آثار کمانش موضعی نیست.

الف) روش توزیع تنش پلاستیک

در این روش مقاومت اسمی اعضای با مقطع مقطع مختلط براساس فرضیات زیر محاسبه می‌شود.

۱) تنش در اجزای بخش فولادی و میلگردها، هم در ناحیهٔ فشاری و هم در ناحیهٔ کششی به تنش یکنواخت F_y می‌رسد که در آن F_y تنش تسلیم اجزای بخش فولادی و میلگردها است.

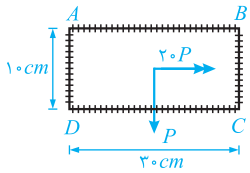
۲) تنش در اجزای بخش بتنی در ناحیهٔ فشاری به تنش یکنواخت $0/85f_c'$ می‌رسد که در آن f_c' تنش فشاری مشخصهٔ نمونهٔ استوانه‌ای بتن است. برای اعضای با مقطع مختلط دایره‌ای شکل توخالی که با بتن پر شده باشند، به دلیل محصورشدگی بتن توسط مقطع فولادی می‌توان تنش بتن در ناحیهٔ فشاری را $0/95f_c'$ در نظر گرفت.

ب) روش سازگاری کرنش

در این روش، تغییرات کرنش در ارتفاع مقطع به صورت خطی فرض شده و حداکثر مقدار کرنش در بتن فشاری برابر با ۰/۰۰۳ فرض می‌گردد. سپس به کمک برقراری روابط تعادل نیروها و لنگرها در مقطع، مقاومت اسمی مقطع تعیین خواهد شد. دقت شود که برای استفاده از روش سازگاری کرنش‌ها، باید نمودار تنش ـ کرنش فولاد و بتن تحت بارهای کششی و فشاری مشخص باشد.

زیر شاخه‌های قسمت اول:
A-۱- مقاومت اسمی اعضای با مقطع مختلط
A-۲- محدودیت‌های مصالح در اعضای با مقطع مختلط

واحد فرض می‌کنیم و در نهایت تنش ماکزیمم ایجاد شده را با ارزش مجاز جوش کنترل می‌کنیم. خط جوش AB تحت اثر برش ناشی از نیروی P و تنش‌های ناشی از لنگر خمشی $۲۰P$ است و بحرانی می‌باشد.



$$f_{av_y}=\frac{P}{A_{we}}\ ,\ f_{ab}=\frac{M_a}{S}$$

در ادامه، با استفاده از ردیف (۷) جدول (۱۱-۴) مقادیر A_{we} و S به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$A_{we}=۲(b+d)=۲(۳۰+۱۰)=۸۰cm$$

$$S=bd+\frac{d^۲}{۳}=۳۰\times۱۰+\frac{۱۰^۲}{۳}=۳۳۳/۳\,cm^۲$$

$$f_{av_y}=\frac{P}{A_{we}}=\frac{P}{۸۰}\ ,\ f_{ab}=\frac{M_a}{S}=\frac{۲۰P}{۳۳۳/۳}$$

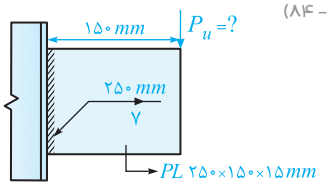
$$f_a=\sqrt{f_{ay}^۲+f_{ab}^۲}=\sqrt{(\frac{P}{۸۰})^۲+(\frac{۲۰P}{۳۳۳/۳})^۲}=۰/۰۶۱۳\,P$$

$$f_a\le R_{aw}\ \Rightarrow\ ۰/۰۶۱۳P\le ۸۹۰a=۸۹۰\times۱/۲\ \Rightarrow\ P\le ۱۷۴۲۳\,kg\ \Rightarrow\ P\simeq ۱۷/۴\,ton$$

بنابراین گزینهٔ (۳) پاسخ صحیح است.

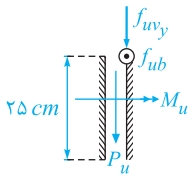
تمرین ۳۶: حداکثر مقدار نیروی P_u را در اتصال جوشی شکل زیر حساب کنید. الکترود مصرفی E ۶۰ بوده و فولاد مورد استفاده ST ۳۷ می‌باشد.

(پایه ۱ - ۸۴)



۱) ۳/۲ تن
۲) ۶/۳ تن
۳) ۹/۴ تن
۴) ۱۲/۶ تن

حل: با انتقال نیروی P_u به مرکزسطح جوش، جوش موردنظر تحت اثر برش P_u و خمش $P_u\times۱۵$ قرار می‌گیرد. برای انجام محاسبات، t_e را برابر یک فرض کرده و در نهایت تنش به‌دست آمده را با ارزش نهایی جوش مقایسه می‌کنیم. بنابراین با توجه به شکل مقابل داریم:



$$f_{uvy}=\frac{P_u}{۲L}=\frac{P_u}{۲\times۲۵}=۰/۰۲\,P_u$$

$$f_{ub}=\frac{M}{S}=\frac{P_ue}{\frac{d^۲}{۳}}=\frac{P_u\times۱۵}{\frac{۲۵^۲}{۳}}=۰/۰۷۲P_u$$

$$f_{u_A}=\sqrt{(۰/۰۲P_u)^۲+(۰/۰۷۲P_u)^۲}\simeq ۰/۰۷۴۷P_u$$

$$f_{u_A}\le R_{dw}\ \Rightarrow\ ۰/۰۷۴۷\,P_u\le ۱۳۴۰a=۱۳۴۰\times۰/۷=۹۳۸\,kg$$

$$\Rightarrow P_u\le ۱۲۵۵۷\,kg\simeq ۱۲/۶\,ton$$

بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.

h: ارتفاع آزاد جان (فاصلهٔ بین انتهای دو ماهیچهٔ جان و بال در روی جان در مقاطع نوردشده و فاصلهٔ بین دو بال در مقاطع ساخته شده از ورق)

C_r: ضریبی است که به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

- اگر در محل اعمال بار متمرکز $M_u < M_y$ در روش $LRFD$ و $1/5\,M_a < M_y$ در روش ASD باشد:

$$C_r = 6/6 \times 10^6\ MPa$$

- اگر در محل اعمال بار متمرکز $M_u \geq M_y$ در روش $LRFD$ و $1/5\,M_a \geq M_y$ در روش ASD باشد:

$$C_r = 3/3 \times 10^6\ MPa$$

که در آن:

M_u: مقاومت خمشی موردنیاز تحت اثر ترکیبات مختلف بارگذاری در روش $LRFD$

M_a: مقاومت خمشی موردنیاز تحت اثر ترکیبات مختلف بارگذاری در روش ASD

M_y: لنگر تسلیم

روابط کنترلی کمانش جانبی جان در روش‌های $LRFD$ و ASD به‌صورت زیر می‌باشند:

$$\text{روش طراحی } LRFD: P_u \leq \phi R_n = 0/85 R_n$$
$$\text{روش طراحی } ASD: P_a \leq \frac{R_n}{\Omega} = \frac{R_n}{1/76}$$

(۱۸-۱۲)

تمرین ۱۳: برای ساخت یک تیر فولادی از مقطع IPE ۳۳۰ استفاده شده است. اگر در محلی از این تیر که مقدار لنگر خمشی اندکی دارد یک نیروی متمرکز به بال تیر اعمال شود، حداکثر مقدار این بار تنها با توجه به معیار کمانش جانبی جان براساس روش ضریب بار و مقاومت تقریباً چند کیلونیوتن است؟ (بال بارگذاری شدهٔ تیر در مقابل دوران نگهداری شده است، طول بدون مهار جانبی هر دو بال در محدودهٔ اعمال بار متمرکز برابر ۳ متر می‌باشد)

۱) ۱۴۳۵ ۲) ۱۷۰۰

۳) ۱۰۵۰ ۴) نیازی به کنترل کمانش جانبی در این تیر نمی‌باشد.

حل: از آنجاکه بال بارگذاری شدهٔ تیر در مقابل دوران نگهداری شده است، داریم:

$$\text{از جدول (۱-۳) کتاب برای پروفیل } IPE\,۳۳۰: \frac{h}{t_w} = \frac{\overbrace{۲۷۱}^{\text{پارامتر } (d-2k) \text{ اشتال}}}{7/5} = 36/13$$

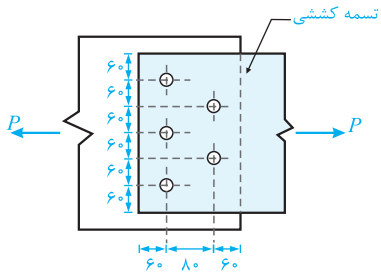
$$\frac{L_b}{b_f} = \frac{3000}{160} = 18/75$$

$$\alpha = \frac{\frac{h}{t_w}}{\frac{L_b}{b_f}} = \frac{36/13}{18/75} = 1/93 < 2/3 \Rightarrow \text{کمانش جانبی جان باید کنترل شود}$$

حال می‌توان مقدار R_n را با استفاده از رابطهٔ (۱۲-۱۶) درسنامه محاسبه کرد.

آزمون محاسبات سال ۱۴۰۲ (اردیبهشت)

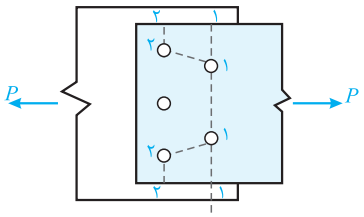
تمرین ۱: برای اتصال یک تسمهٔ کششی با مقطع $۳۶۰\times۱۰\ mm$ به یک ورق اتصال از جزئیات شکل زیر استفاده شده است. اگر سوراخ‌ها استاندارد بوده و برای عبور پیچ‌های از نوع M ۲۰ پیش‌بینی شده باشد، مقدار سطح مقطع خالص مؤثر تسمه به کدام‌یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ در شکل ابعاد به میلی‌متر است.



۱) $۳۴/۷\times۱۰^۲\ mm^۲$ ۲) $۳۱/۲\times۱۰^۲\ mm^۲$

۳) $۲۸/۸\times۱۰^۲\ mm^۲$ ۴) $۲۶/۹\times۱۰^۲\ mm^۲$

حل: برای تعیین سطح مقطع خالص مؤثر تسمه، باید ابتدا سطح مقطع خالص بحرانی را تعیین کنیم و برای این منظور مسیرهای زیر را در نظر می‌گیریم. توجه داریم که چون قطر پیچ‌ها $۲۰\ mm$ است، در حالت سوراخ استاندارد، قطر اسمی سوراخ‌ها برابر $۲۲\ mm$ و قطر محاسباتی آن‌ها $۲۲\ mm + ۲\ mm = ۲۴\ mm$ می‌باشد و داریم:

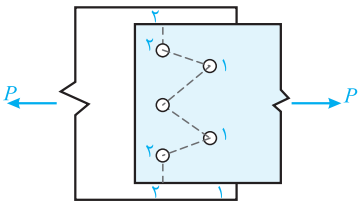


مسیر قائم ۱-۱: $A_n = (b - ۲D)\,t = (۳۶۰ - ۲\times۲۴)\times۱۰ = ۳۱۲۰\ mm^۲$

مسیر زیگزاگ ۲-۲-۱-۱-۲-۲: $A_n = (b - ۴D + ۲\times\frac{s^۲}{۴g})\,t = (b - ۴D + \frac{s^۲}{۲g})\,t =$

$(۳۶۰ - ۴\times۲۴ + \frac{۸۰^۲}{۲\times۶۰})\times۱۰ = ۳۱۷۳/۳\ mm^۲$

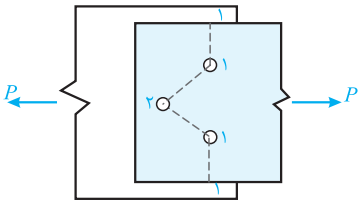
مسیر زیگزاگ ۲-۲-۱-۲-۱-۲-۲: $A_n = (b - ۵D + ۴\times\frac{s^۲}{۴g})\,t =$



$(b - ۵D + \frac{s^۲}{g})\,t = (۳۶۰ - ۵\times۲۴ + \frac{۸۰^۲}{۶۰})\times۱۰$

$= ۳۴۶۶/۷\ mm^۲$

مسیر زیگزاگ ۱-۱-۲-۱-۱: $A_n = (b - ۳D + ۲\times\frac{s^۲}{۴g})\,t =$



$(b - ۳D + \frac{s^۲}{۲g})\,t =$

$(۳۶۰ - ۳\times۲۴ + \frac{۸۰^۲}{۲\times۶۰})\times۱۰ = ۳۴۱۳/۳\ mm^۲$

بر روی تمام مسیرهای فوق، تمام نیروی کششی P اثر می‌کند و بنابراین مسیری که سطح مقطع آن کوچکتر از بقیه است، تعیین‌کننده و بحرانی می‌باشد:

$$A_n = min\,[(A_n)_1, (A_n)_2, (A_n)_3, (A_n)_4] = min\,(3120, 3173/3, 3466/7, 3413/3) = 3120\,mm^2$$

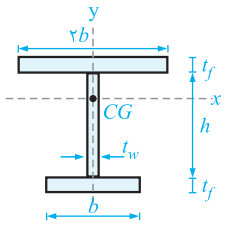
دیده می‌شود که مسیر قائم اول (مسیر ۱-۱) بحرانی است. با توجه به اینکه ضریب تأخیر برشی U در حالت اتصال پیچی ورق‌های روی هم برابر ۱/۰ است، داریم:

$$A_e = UA_n = 1/0 \times A_n = A_n = 3120\,mm^2 = 31/2 \times 10^2\,mm^2$$

توجه: اگر برای اتصال پیچی مطرح شده، مسیر قائم ۲-۲ در نظر گرفته شود، به علت اینکه نیروی وارده بر آن برابر ۶۰ درصد بارگذاری می‌شود ($P_{2-2} = P - 2 \times \frac{P}{5} = \frac{3P}{5} = 0/6\,P$) بحرانی نخواهد بود.

بنابراین گزینهٔ (۲) صحیح است.

تمرین ۲: برای یک عضو فشاری از مقطع شکل زیر استفاده شده است. برای تعیین F_{cr} این عضو کنترل کدام‌یک از حالت‌های حدی زیر موضوعیت دارد؟



۱) کمانش خمشی حول محور y

۲) کمانش خمشی ـ پیچشی حول محورهای x و z

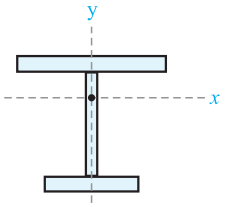
۳) کمانش پیچشی حول محور z

۴) کمانش خمشی ـ پیچشی حول محورهای y و z

حل:

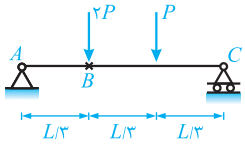
این تست مشابه تست حالت‌های حدی مقطع سپری مطرح شده در آزمون محاسبات اردیبهشت ۹۷ است که در تمرین ۴۶ جلد اول کتاب سازه‌های فولادی برای آزمون محاسبات (صفحات ۱۵۶ و ۱۵۷) به طور مفصل بحث و بررسی شده است. در نکته ۳ در انتهای حل تست مقطع سپری فوق‌الذکر، نوشته شده است که "در مقاطع با یک محور تقارن، به طور کلی کمانش خمشی حول محور عمود بر محور تقارن مقطع بررسی می‌شود و کمانش خمشی ـ پیچشی همواره حول محور تقارن مقطع و محور طولی عضو بررسی می‌شود."

با توجه به نکته مهم فوق و توجه به اینکه در مقطع I شکل داده شده، محور تقارن مقطع، محور y است و محور عمود بر محور تقارن، محور x و محور طولی مقطع هم محور z است، نتیجه می‌شود که حالت‌های حدی که برای تعیین تنش بحرانی F_{cr} بایستی در نظر گرفته شوند، عبارتند از کمانش خمشی حول محور افقی x و کمانش خمشی ـ پیچشی حول محورهای y (محور تقارن) و محور z (محور طولی مقطع). با توجه به گزینه‌های تست دیده می‌شود که فقط حالت حدی ارائه شده در گزینه چهارم (کمانش خمشی ـ پیچشی حول محورهای y و z) موضوعیت دارد و بقیه حالت‌های حدی غلط است.



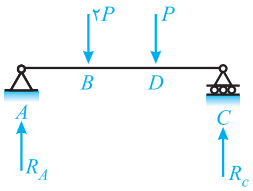
بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.

تمرین ۳: در تیر شکل زیر فرض نمائید تیر در نقاط *A*، *B* و *C* دارای تکیه‌گاه جانبی است. ضریب اصلاح کمانش جانبی پیچشی در فاصلهٔ *BC* به کدام‌یک از مقادیر نزدیک‌تر است؟ صلبیت خمشی تیر *ABC* یکسان و برابر *EI* بوده و مقطع تیر دارای دو محور تقارن است.



۱) ۱/۴ ۲) ۱/۱
۳) ۱/۳ ۴) ۱/۲

حل: چون تیر داده شده معین است، به راحتی با استفاده از استاتیک می‌توان آن را تحلیل کرد و نمودار لنگر خمشی آن را به‌دست آورد:

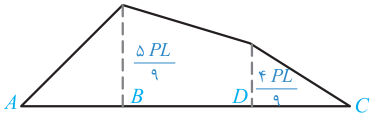


$$\sum M_A = ۰ \Rightarrow ۲P \times \frac{L}{۳} + P \times \frac{۲L}{۳} - R_C \times L = ۰ \Rightarrow R_c = \frac{۴P}{۳} \uparrow$$

$$\sum F_y = ۰ \Rightarrow R_A + R_C - ۲P - P = ۰ \Rightarrow R_A = ۳P - R_C = ۳P - \frac{۴P}{۳} = \frac{۵P}{۳} \uparrow$$

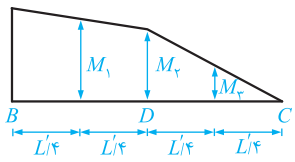
$$M_D = R_C \times \frac{L}{۳} = \frac{۴P}{۳} \times \frac{L}{۳} = \frac{۴PL}{۹}, \; M_B = R_A \times \frac{L}{۳} = \frac{۵P}{۳} \times \frac{L}{۳} = \frac{۵PL}{۹}$$

بنابراین نمودار لنگر خمشی تیر به صورت زیر است و توجه داریم که چون بارگذاری روی تیر به صورت مجموعه نیروهای متمرکز است، تغییرات لنگر خمشی در کل طول تیر به صورت خطی است.



نمودار لنگر خمشی تیر

بنابه گفته طراح تست، در نقاط B و C مهار جانبی وجود دارد. برای محاسبه ضریب اصلاح کمانش جانبی پیچشی، باید طول B تا C به چهار قسمت مساوی تقسیم شود و از رابطه C_b استفاده گردد. با فرض اینکه طول BC را L' بنامیم، داریم:



$$M_{max} = M_B = \frac{۵PL}{۹}$$

$$M\ (x = \frac{L'}{۴}) = M_۱ = \frac{M_B + M_D}{۲} =$$

$$\frac{۵LP}{۹} + \frac{۴PL}{۹} = \frac{PL}{۲}, \; M\ (x = \frac{L'}{۲}) = M_D = M_۲ = \frac{۴PL}{۹}$$

$$M\ (x = \frac{۳L'}{۴}) = M_۳ = \frac{M_D + M_C}{۲} = \frac{\frac{۴PL}{۹} + ۰}{۲} = \frac{۲PL}{۹}$$

$$C_b = \frac{۱۲/۵\, M_{max}}{۲/۵\, M_{max} + ۳M_۱ + ۴M_۲ + ۳M_۳} = \frac{۱۲/۵ \times \frac{۵PL}{۹}}{۲/۵ \times \frac{۵PL}{۹} + ۳ \times \frac{PL}{۲} + ۴ \times \frac{۴PL}{۹} + ۳ \times \frac{۲PL}{۹}}$$

$$= \frac{۶/۹۴\, PL}{۵/۳۳\, PL} = ۱/۳۰۲ \simeq ۱/۳$$

بنابراین گزینهٔ (۳) صحیح است.