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، دی‌وی‌دی‌های آموزشی و برگزاری کلاس‌های ویژه آزمون نظام مهندسی**، آزمون کارشناسی رسمی، آموزش حرفه‌ای نرم‌افزار و آزمون کارشناسی ارشد، قدمی هر چند کوچک برای موفقیت شما مهندسین عزیز برداریم.

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، تولید دی‌وی‌دی‌های آموزشی 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 که با عنوان «کتاب‌های نگاه حرفه‌ای به آزمون نظام مهندسی» منتشر می‌شوند، 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

در سال‌های اخیر شاهد استقبال فراوان و بی‌نظیر مهندسین عزیز از کلاس‌های حضوری آمادگی آزمون نظام مهندسی مؤسسه سری عمران و همچنین نتایج درخشان قبولی شرکت‌کنندگان در این کلاس‌ها بوده‌ایم. در همین راستا و با توجه به درخواست‌های بسیار زیاد شما مهندسین عزیز برای استفاده از کلاس‌های مؤسسه سری عمران، برنامه‌ریزی دقیق و هدفمندی را جهت تولید کلاس‌های ویدئویی صفر تا ۱۰۰ (دی‌وی‌دی‌های آموزشی به‌علاوه کلاس‌های آنلاین) ویژه آمادگی آزمون‌های محاسبات، نظارت و اجرا انجام داده‌ایم. 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.

تمامی مهندسین عزیز می‌توانند از هر نقطه‌ای از کشور در این کلاس‌ها شرکت کرده و از تدریس برترین اساتید استفاده کنند. با این کلاس‌ها برنامه مطالعه شما مهندسین عزیز در اختیار خودتان بوده و می‌توانید با مشاهده چندین باره این کلاس‌ها و استفاده از پشتیبانی فنی و کلاس‌های آنلاین رفع اشکال، راه قبولی در آزمون نظام مهندسی را هرچه بیشتر کوتاه 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

فصل نهم: طول مهاری و وصله

قسمت اول: طول مهاری میلگردها ۸
A-۱- مقدمه ۸
A-۲- روش مهار میلگردها ۸
A-۳- طول مهاری میلگردها و سیم‌های آجدار تحت کشش ۹
A-۴- طول مهاری میلگردهای با قلاب استاندارد تحت کشش ۱۵
A-۵- ضوابط قلاب استاندارد ۱۶
A-۶- طول مهاری میلگردهای آجدار سردار در کشش ۲۲
A-۷- طول مهاری شبکه آرماتور سیمی جوشی آجدار و ساده در کشش ۲۴
A-۸- طول مهاری میلگردها و سیم‌های آجدار تحت فشار ۲۷
A-۹- کاهش طول مهاری برای آرماتور اضافی ۲۸
قسمت دوم: وصله میلگردها ۲۹
B-۱- مقدمه ۲۹
B-۲- ضوابط وصله‌های پوششی ۲۹
B-۳- وصله پوششی میلگردها و سیم‌های آجدار تحت کشش ۳۰
B-۴- وصله پوششی شبکه آرماتور سیمی آجدار جوش شده در کشش ۳۵
B-۵- وصله پوششی شبکه آرماتور سیمی ساده جوش شده در کشش ۳۶
B-۶- وصله پوششی میلگردهای آجدار تحت فشار ۳۶
B-۷- وصله‌های اتکایی ۳۸
B-۸- وصله‌های مکانیکی و جوشی میلگردهای آجدار در کشش و فشار ۳۸
قسمت سوم: ضوابط گروه میلگردها ۳۹
C-۱- ضوابط گروه میلگردها ۳۹
قسمت چهارم: ضوابط قطع میلگردها ۴۳
D-۱- مقدمه ۴۳
D-۲- ضوابط عمومی قطع میلگردها ۴۳
D-۳- ضوابط خاص قطع میلگردها ۴۵

فصل دهم: طراحی اتصالات اعضای بتن‌آرمه

قسمت اول: طراحی اتصال تیر به ستون ۵۶
A-۱- مقدمه ۵۶
A-۲- تعریف ناحیه اتصال ۵۶
A-۳- طراحی ناحیه اتصال ۵۷
A-۴- میلگردگذاری عرضی ناحیه اتصال ۶۳
A-۵- ضوابط میلگردهای طولی در ناحیه اتصال ۶۵
قسمت دوم: انتقال نیروی محوری ستون از طریق سیستم کف ۷۲
A-۱- انتقال نیروی محوری ستون از طریق سیستم کف ۷۲

فصل یازدهم: ضوابط لرزه‌ای قاب‌های خمشی

قسمت اول: تعریف شکل‌پذیری و شرح مفاهیم اولیه ۷۴
A-۱- مقدمه ۷۴
A-۲- آشنایی با سطوح شکل‌پذیری ۷۴
A-۳- ضوابط مصالح مصرفی ۷۵
قسمت دوم: ضوابط سازه‌های با سطح شکل‌پذیری کم ۷۷
B-۱- مقدمه ۷۷
B-۲- ضوابط تیرها ۷۷
B-۳- ضوابط ستون‌ها ۷۷
B-۴- اتصالات تیر به ستون ۷۹
B-۵- ضوابط دیوارها ۷۹
قسمت سوم: ضوابط سازه‌های با سطح شکل‌پذیری متوسط ۸۳
C-۱- مقدمه ۸۳
C-۲- ضوابط تیرها ۸۳
C-۳- ضوابط ستون‌ها ۹۷
C-۴- ضوابط ناحیه اتصال تیر به ستون ۱۰۴
قسمت چهارم: ضوابط سازه‌های با سطح شکل‌پذیری زیاد ۱۰۶
D-۱- مقدمه ۱۰۶
D-۲- ضوابط تیرها ۱۰۶
D-۳- ضوابط ستون‌ها ۱۲۲
D-۴- حداقل مقاومت خمشی ستون‌ها ۱۴۱
D-۵- ضوابط اتصالات تیر به ستون ۱۴۶
D-۶- طول مهاری میلگردهای کششی ۱۵۹

فصل دوازدهم: بررسی ضوابط لرزه‌ای دیوارها

قسمت اول: آشنایی کلی با طراحی دیوارها ۱۶۲
A-۱- مقدمه ۱۶۲
A-۲- ضوابط طراحی دیوار ۱۶۲
قسمت دوم: ضوابط طراحی دیوارهای برشی ۱۶۴
B-۱- مقدمه ۱۶۴
B-۲- ضوابط هندسی دیوار ۱۶۴
B-۳- ضوابط آرماتورگذاری دیوار ۱۶۶
قسمت سوم: طراحی اجزای مرزی دیوار ۱۷۵
C-۱- مقدمه ۱۷۵
C-۲- کنترل لزوم وجود عضو مرزی ویژه ۱۷۵
C-۳- طراحی اجزای مرزی ویژه ۱۸۴
C-۴- طراحی اجزای مرزی غیر ویژه ۱۸۷
قسمت چهارم: طراحی دیوار تحت نیروی برشی داخل صفحه ۱۹۶
D-۱- طراحی دیوار تحت نیروی برشی ۱۹۶
قسمت پنجم: دیوار پایه‌ها ۲۰۲
E-۱- مقدمه ۲۰۲
E-۲- ضوابط طراحی دیوار پایه‌ها ۲۰۲

قسمت ششم: تیرهای همبند ۲۰۷
F-۱- مقدمه ۲۰۷
F-۲- ضوابط طراحی تیر همبند ۲۰۷
F-۳- طراحی آرماتورهای قطری تیر همبند ۲۰۸

فصل سیزدهم: طراحی دال یک‌طرفه

قسمت اول: آشنایی با انواع عملکرد دال‌ها ۲۱۴
A-۱- مقدمه ۲۱۴
A-۲- گستره کاربرد ۲۱۶
قسمت دوم: طراحی دال‌های یک‌طرفه تحت خمش ۲۱۷
B-۱- مقدمه ۲۱۷
B-۲- طراحی دال یک‌طرفه تحت خمش ۲۱۷
B-۳- آرماتور حداقل دال ۲۲۱
قسمت سوم: طراحی دال یک‌طرفه تحت برش ۲۲۵
C-۱- مقدمه ۲۲۵
C-۲- محاسبه برش نهایی دال ۲۲۵
C-۳- محاسبه برش مقاوم اسمی دال ۲۲۶
C-۴- آرماتورگذاری تحت برش ۲۲۹
قسمت چهارم: ضوابط آرماتورگذاری دال‌های یک‌طرفه ۲۳۴
D-۱- ضوابط آرماتورگذاری دال‌های یک‌طرفه ۲۳۴

فصل چهاردهم: طراحی دال‌های دوطرفه

قسمت اول: آشنایی با دال‌های دوطرفه ۲۳۶
A-۱- مقدمه ۲۳۶
A-۲- انواع دال‌های دوطرفه ۲۳۶
A-۳- اجزای دال دوطرفه ۲۳۷
قسمت دوم: طراحی خمشی دال‌های دوطرفه ۲۴۰
B-۱- انواع روش‌های طراحی دال ۲۴۰
B-۲- روش طراحی مستقیم ۲۴۰
B-۳- روش قاب معادل ۲۵۴
قسمت سوم: طراحی برشی دال ۲۶۲
C-۱- مقدمه ۲۶۲
C-۲- انواع برش در دال‌ها ۲۶۲
C-۳- مقاومت برشی دال در حالت یک‌طرفه ۲۶۳
C-۴- مقاومت برشی دال در حالت دوطرفه ۲۶۷
C-۵- انتقال لنگر خمشی ضریبدار در اتصالات دال به ستون ۲۹۰
قسمت چهارم: ضوابط لرزه‌ای دال‌ها ۳۰۲
D-۱- ضوابط لرزه‌ای دال‌ها ۳۰۲
قسمت پنجم: ضوابط بازشوها ۳۰۴
E-۱- بازشو در دال ۳۰۴

فصل پانزدهم: طراحی دیافراگم

قسمت اول: آشنایی با مفهوم کلی دیافراگم ۳۱۰
A-۱- مقدمه ۳۱۰
A-۲- انواع دیافراگم‌ها ۳۱۰
A-۳- نیروهای طراحی دیافراگم ۳۱۱
قسمت دوم: طراحی دیافراگم ۳۱۳
B-۱- مدلسازی دیافراگم ۳۱۳
B-۲- طراحی دیافراگم ۳۱۴
B-۳- محدودیت آرماتورگذاری ۳۱۹
قسمت سوم: ضوابط اجزای جمع‌کننده ۳۲۲
C-۱- طراحی اجزای جمع‌کننده ۳۲۲
قسمت چهارم: ضوابط لرزه‌ای دال‌ها ۳۲۵
D-۱- مقدمه ۳۲۵
D-۲- انواع دیافراگم‌های قابل کاربرد ۳۲۵
D-۳- آرماتورگذاری ۳۲۵
D-۴- مقاومت طراحی دیافراگم ۳۲۷

فصل شانزدهم: طراحی شالوده

قسمت اول: انواع شالوده‌ها ۳۳۰
A-۱- مقدمه ۳۳۰
A-۲- انواع شالوده‌ها ۳۳۰
A-۳- انواع شالوده‌های سطحی ۳۳۰
A-۴- شالوده‌های عمیق ۳۳۳
قسمت دوم: طراحی شالوده‌های سطحی ۳۳۴
B-۱- ضوابط کلی طراحی شالوده‌های سطحی ۳۳۴
B-۲- انواع شالوده‌های سطحی به لحاظ خمشی ۳۳۵
B-۳- طراحی شالوده‌های سطحی ۳۳۹
قسمت سوم: شالوده‌های عمیق ۳۵۴
C-۱- انواع روش‌های طراحی شمع ۳۵۴
C-۲- طراحی شمع به روش مقاومت مجاز ۳۵۴
C-۳- طراحی شمع به روش طرح مقاومت ۳۵۶
C-۴- ضوابط طراحی سرشمع‌ها ۳۵۷
قسمت چهارم: ضوابط لرزه‌ای شالوده‌ها ۳۶۴
D-۱- مقدمه ۳۶۴
D-۲- ضوابط کلی شالوده‌های سطحی و سرشمع‌ها ۳۶۴
D-۳- ضوابط لرزه‌ای شالوده‌های عمیق ۳۶۵
قسمت پنجم: ضوابط کلاف‌های رابط ۳۷۴
E-۱- ضوابط کلی طراحی کلاف رابط ۳۷۴
E-۲- ضوابط لرزه‌ای کلاف‌ها ۳۷۴

فصل هفدهم: ضوابط بهره‌برداری

قسمت اول: محاسبه تغییر شکل در اعضای بتن‌آرمه ۳۷۸
A-۱- مقدمه ۳۷۸
A-۲- انواع تغییرشکل در سازه‌های بتن‌آرمه ۳۷۸
A-۳- محاسبه تغییرشکل اولیه ۳۸۰
A-۴- محاسبه تغییرشکل دراز مدت ۳۸۶
A-۵- کنترل تغییرمکان ۳۹۸
قسمت دوم: ترک‌خوردگی در اعضای بتن‌آرمه ۴۰۹
B-۱- مقدمه ۴۰۹
B-۲- ترک‌خوردگی در اعضای خمشی ۴۰۹
قسمت سوم: کنترل ارتعاش ۴۱۳
C-۱- مقدمه ۴۱۳
C-۲- کنترل ارتعاش کف‌ها ۴۱۳
آزمون مرداد ۱۴۰۰ ۴۱۷
آزمون شهریور ۱۴۰۱ ۴۳۳

سخـن مؤلف

به نام یکتا مهندس هستی ...

سازه‌های بتن‌آرمه 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 نهم مقررات ملّی ساختمان در سال ۹۹، 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 گروهی منسجم، کتابی در دو جلد به شما عزیزان ارائه کنیم.

ویژگی‌های این کتاب

۱- ارائهٔ یک نگاه جدید در درس بتن 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 پرسیدن 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.

به شما اطمینان می‌دهیم که با مطالعهٔ این کتاب متوجه خواهید شد که بتن‌آرمه درسی جذاب است و با نگاه جدید ارائه شده، می‌توان سؤالات آن را به خوبی در آزمون نظام مهندسی تحلیل کرد.

در پایان خاطر نشان می‌گردد در این کتاب تلاش بی‌وقفه‌ای درخصوص 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. در پایان از جناب آقای دکتر محمد آهنگر که با ارائهٔ پیشنهادات سازنده، نظارت علمی کتاب را بر عهده داشته و همچنین آقایان مهندس مسیح مرادی و مهندس رضا رحمانی که در ویرایش این کتاب مشارکت نموده‌اند، سپاسگزارم.

در ادامه فهرست مهمترین مراجع مورد استفاده در نگارش این کتاب ارائه شده است:

۱. مبحث نهم مقررات ملّی ساختمان، «طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه»، ویرایش پنجم، وزارت راه و شهرسازی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۹.

۲. مستوفی نژاد، داود، «سازه‌های بتن‌آرمه براساس روش طرح مقاومت ACI 318-14 و طراحی در حالات حدی»، ویراست ۲، انتشارات ارکان دانش، اصفهان، ۱۳۹۴.

3. ACI Committee 318-19, “Building code requirements for structural concrete” , American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA, 2019.

4. Mc Cormac, J.C, Brown, R.H, Ninth Edition, “Design of Reinforced Concrete” , John Wiley & Sons, Inc. New York, 2014.

5. Nilson, A.H., Darwin, D and Dolan, C.W., Fifteenth edition, “Design of Concrete Structures” , McGraw-Hill, USA, 2015.

6. Wight, J.K., MacGregor, J.G., “Reinforced Concrete Mechanics & Design”, Seventh Edition, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 2012.

«با آرزوی موفقیت روزافزون شما مهندسین گرامی در آزمون بزرگتر زندگی»

ندا بزرگی - تیر ۱۴۰۰

قسمت چهارم (ضوابط سازه‌های با سطح شکل‌پذیری زیاد)

زیرشاخه‌های قسمت چهارم:

D-۱- مقدمه

D-۲- ضوابط تیرها

D-۳- ضوابط ستون‌ها

D-۴- حداقل مقاومت خمشی ستون‌ها

D-۵- ضوابط اتصالات تیر به ستون

D-۶- طول مهاری میلگردهای کششی

D-۱- مقدمه

در سازه‌هایی که سطح شکل‌پذیری آنها در طراحی زیاد در نظر گرفته می‌شود، مقدار نیروی زلزله به‌دلیل امکان جذب و استهلاک زیاد انرژی توسط اجزا با در نظر گرفتن ضریب رفتار بزرگتر، کاهش داده شده و نهایتاً نیروی استاتیکی کمتری جهت طراحی بر سازه اعمال می‌شود. به همین دلیل برای پایداری و انسجام سازه در اثر تغییرشکل‌های ناشی از زلزله و همچنین صحت فرضیات طراحی در برآورد نیروهای اعمالی، ضوابط لرزه‌ای سخت‌گیرانه‌ای برای طراحی و اجرای اجزای مختلف سازه باید در نظر گرفته شود، که در ادامه آنها را با هم بررسی می‌کنیم.

D-۲- ضوابط تیرها

در سازه‌های با حد شکل‌پذیری زیاد، ضوابط مشخصی در خصوص هندسه و آرماتورگذاری، مشابه آنچه در قسمت گذشته خواندیم، وجود دارد. با این تفاوت که این ضوابط در بسیاری از موارد بیشتر و سخت‌گیرانه‌تر می‌باشد. در ادامه هر کدام از این موارد به تفکیک ارائه شده است.

محدودیت‌های هندسی

در اعضای خمشی محدودیت‌های زیر باید رعایت شوند:

۱) ارتفاع مؤثر مقطع نباید بیشتر از یک‌چهارم طول دهانهٔ آزاد باشد.

$$d \le \frac{l_n}{۴}$$

۲) عرض مقطع نباید کمتر از سه‌دهم ارتفاع آن و ۲۵۰ میلی‌متر باشد.

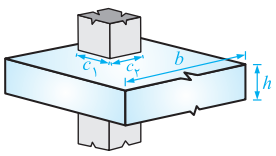
$$b \ge max\ \{۰/۳h\ ,\ ۲۵۰\ mm\}$$

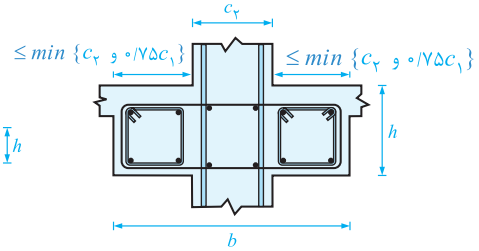
۳) عرض مقطع نباید بیشتر از عرض عضو تکیه‌گاهی در صفحهٔ عمود بر محور طولی عضو خمشی، به‌اضافهٔ کمترین مقدار $c_۲$ و $۰/۷۵c_۱$ در هر طرف عضو تکیه‌گاهی باشد.

$$b \le min\ \{c_۲ + ۲c_۲\ ,\ c_۲ + ۲\times ۰/۷۵\, c_۱\}$$

$c_۱$: بعد ستون در راستای محور طولی تیر،

$c_۲$: بعد ستون عمود بر راستای محور طولی تیر.





بر مبنای بند (۹-۲۰-۶-۲-۱-۱)

آرماتورهای طولی

ضوابط مربوط به حداقل آرماتورهای طولی در سازه‌های با حد شکل‌پذیری زیاد کاملاً مشابه با آنچه در فصل خمش آموختیم، می‌باشد. با این تفاوت که در تیرهای با سطح شکل‌پذیری زیاد مقدار حداقل فولاد برای هر دو ردیف آرماتورهای فوقانی و تحتانی یعنی آرماتورهای کششی و فشاری مقطع باید کنترل گردد:

$$A_{s,min} = max\left\{\frac{۱/۴}{f_y} b_w\, d\ ,\ ۰/۲۵\frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w\, d\right\} \qquad (۱۴-۱۱)$$

همچنین لازم است حداقل دو میلگرد با قطر ۱۲ mm هم در پایین و هم در بالای مقطع در سراسر طول عضو خمشی به‌کار رود.

یادآوری: در مقاطع بالداری که بال مقطع تحت کشش قرار دارد، مقدار b_w با b_e که برابر عرض مؤثر بوده و مطابق رابطهٔ $b_e = min\left\{b_f\ ,\ ۲b_w\right\}$ به‌دست می‌آید، جایگزین می‌شود.

از طرفی نسبت حداکثر آرماتورهای کششی مقطع به‌صورت زیر کنترل می‌شود:

$f_y \le ۴۲۰\ MPa \Rightarrow \rho_{max} = ۰/۰۲۵$

$f_y = ۵۲۰\ MPa \Rightarrow \rho_{max} = ۰/۰۲۰$

در خصوص آرماتورگذاری طولی تیر و مقاومت خمشی در مقاطع مختلف، لازم است موارد زیر در نظر گرفته شوند:

۱) مقاومت خمشی مثبت در مقاطع بر تکیه‌گاه‌ها، حداقل برابر نصف مقاومت خمشی منفی آن تکیه‌گاه باشد.

مقطع تکیه‌گاه: $M_n^+ \ge \frac{M_n^-}{۲}$

۲) حداقل مقاومت خمشی مثبت و منفی در هر مقطع در سراسر طول تیر برابر یک چهارم حداکثر مقاومت خمشی مقاطع بر تکیه‌گاهی در دو انتهای عضو در نظر گرفته می‌شود.

سایر مقاطع غیر از تکیه‌گاه: $M_n^+\ ,\ M_n^- \ge \frac{۱}{۴} M_{n,max}$ تکیه‌گاه

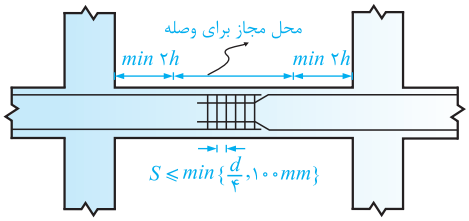
۳) استفاده از وصلهٔ پوششی در محل‌های زیر مجاز نمی‌باشد:

الف) اتصال تیر به ستون،

ب) در طولی معادل دو برابر ارتفاع مقطع تیر از بر تکیه‌گاه،

ج) طولی معادل دو برابر ارتفاع مقطع تیر از مقاطع بحرانی که در آنها در اثر تغییرمکان جانبی غیرالاستیک امکان وقوع تسلیم آرماتور (محل بروز حداکثر تنش‌ها) وجود دارد.

۴) استفاده از وصلهٔ پوششی در میلگردهای طولی تیرها فقط هنگامی مجاز است که در تمام ناحیهٔ وصله، آرماتور عرضی از نوع دورگیر و یا دورپیچ تعبیه گردد. حداکثر فاصلهٔ آرماتورهای عرضی در طول وصله برابر کوچکترین مقدار یک چهارم ارتفاع مؤثر مقطع و ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد.



بر مبنای بند (۹-۲۰-۶-۲-۲-۱)
بر مبنای بندهای (۹-۲۰-۶-۲-۲-۱) الی (۹-۲۰-۶-۲-۲-۵)

۵ وصله‌های مکانیکی در صورتی‌که ضوابط کلی وصله را مطابق فصل نهم رعایت نمایند، می‌توانند در مقطع مورد استفاده قرار بگیرند، به شرط آنکه وصلهٔ مکانیکی در فاصله‌ای کمتر از دو برابر ارتفاع مقطع تیر از بر تیر یا ستون و یا مقاطع بحرانی که در آنها احتمال تسلیم آرماتورها وجود دارد (یعنی مقاطع دارای حداکثر لنگر خمشی)، قرار نگرفته باشد.

۶ در صورتی‌که از وصله‌های مکانیکی مطابق ضوابط فصل نهم استفاده می‌شود، به نحوی که وصله‌ها قادر به تحمل مقاومت گسیختگی کششی اسمی آرماتورهای وصله شده می‌باشند (یعنی نیرویی معادل $T_n = A_s F_u$ که در آن A_s مساحت کل آرماتورهای وصله شده و F_u تنش گسیختگی میلگرد می‌باشد)، چنانچه ردهٔ میلگردها S۴۰۰ و S۴۲۰ باشد و تیر نیز پیش‌ساخته نباشد، می‌توان در هر مقطعی از وصله استفاده نمود. در سایر رده‌های مصرفی شرایط استفاده از وصله مطابق مورد (۵) باید رعایت گردد.

۷ وصله‌های جوشی در میلگردهایی که نیروهای ناشی از زلزله را تحمل می‌کنند، در صورتی‌که وصله ضوابط کلی را مطابق فصل نهم رعایت نماید، مجاز بوده، به شرط آنکه وصله در فاصله‌ای بیشتر از دو برابر ارتفاع مقطع عضو از بر اتصال تیر به ستون و یا مقاطع بحرانی که در آنها احتمال تسلیم آرماتورها وجود دارد، قرار گرفته باشد.

۸ هرگونه جوش‌کاری در خاموت‌ها، تنگ‌ها، قطعات جایگذاری شده و مشابه چنین مواردی به آرماتورهای طولی که کاربرد محاسباتی دارند، مجاز نمی‌باشد.

تمرین ۱۶: یک قاب خمشی بتن‌آرمه را در نظر بگیرید که مطابق ضوابط سازه‌های با حد شکل‌پذیری زیاد طراحی شده است. در یکی از قاب‌های اصلی این سازه با فاصلهٔ محور تا محور برابر ۶ متر، تیری به عرض b و ارتفاع ۶۰۰ میلی‌متر بکار رفته است. در صورتی‌که ابعاد ستون‌ها برابر ۴۰۰×۴۰۰ میلی‌متر، مصالح مصرفی بتن C۳۰ و فولاد S۴۰۰ و پوشش بتن تا مرکز آرماتورها برابر ۵۵ میلی‌متر باشد، به هر یک از سؤالات زیر پاسخ دهید.

الف) مقدار حداقل عرض مجاز این تیر چقدر می‌باشد؟

ب) در صورتی‌که اتصال میانی تیر به ستون در نظر باشد، حداکثر عرض تیر قابل استفاده را محاسبه کنید.

حل:

الف) با توجه به کنترل ضوابط هندسی تیرهای با حد شکل‌پذیری زیاد، مقدار حداقل عرض مقطع به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$b \geq max\ \{۰/۳h\ ,\ ۲۵۰\ mm\}$$

$$b \geq max\ \{۰/۳ \times ۶۰۰\ ,\ ۲۵۰\} = ۲۵۰\ mm$$

ب) در صورتی‌که اتصال میانی مورد نظر باشد، تیر می‌تواند نسبت به هر دو وجه ستون دارای بیرون‌زدگی باشد. بنابراین داریم:

$$b \leq min\ \{c_۲ + ۲c_۲\ ,\ c_۲ + ۲ \times ۰/۷۵c_۱\}$$

با توجه به مربعی بودن مقطع ستون $c_۱ = c_۲ = ۴۰۰\ mm$، بنابراین داریم:

$$b \leq min\ \{۴۰۰ + ۲ \times ۴۰۰\ ,\ ۴۰۰ + ۲ \times ۰/۷۵ \times ۴۰۰\} = ۱۰۰۰\ mm$$

بنابراین حداکثر عرض مجاز تیر نیز برابر ۱۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد.

تمرین ۱۷: یک تیر بتن‌آرمهٔ مستطیلی به عرض ۳۵۰ و ارتفاع ۴۰۰ میلی‌متر را که متعلق به یک سازه با حد شکل‌پذیری زیاد است، در نظر بگیرید. در صورتی‌که عمق مؤثر مقطع برابر ۳۴۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود، مساحت حداکثر و حداقل میلگردهای خمشی در این مقطع مطابق کدام‌یک از گزینه‌های زیر می‌باشد؟ بتن مصرفی از ردهٔ ۴۰ C و فولادها ۵۲۰ S می‌باشند.

۱) $۲۳۸۰\ mm^۲$, $۳۲۰\ mm^۲$
۲) $۲۹۷۵\ mm^۲$, $۳۶۲\ mm^۲$
۳) $۲۹۷۵\ mm^۲$, $۳۲۰\ mm^۲$
۴) $۲۳۸۰\ mm^۲$, $۳۶۲\ mm^۲$

● حل:

$$A_{s,min} = max\left\{\frac{۱/۴}{f_y}b_w d\ ,\ \frac{۰/۲۵\sqrt{f'_c}}{f_y}b_w d\right\}$$

$$A_{s,min} = max\left\{\frac{۱/۴}{۵۲۰}\times ۳۵۰\times ۳۴۰\ ,\ \frac{۰/۲۵\times\sqrt{۴۰}}{۵۲۰}\times ۳۵۰\times ۳۴۰\right\} = ۳۶۱/۸\ mm^۲$$

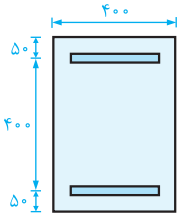
$$S۵۲۰ \Rightarrow \rho_{max} = ۰/۰۲$$

$$A_{s,max} = \rho_{max} b_w d$$

$$A_{s,max} = ۰/۰۲\times ۳۵۰\times ۳۴۰ = ۲۳۸۰\ mm^۲$$

تذکر: به منظور محاسبهٔ درصد آرماتور حداقل می‌توان از جدول ارائه شده در انتهای فصل دوم از جلد اول کتاب استفاده نمود. اما دقت شود به دلیل تفاوت مقدار ρ_{max} در تیرهای معمولی و تیرهای با حد شکل‌پذیری زیاد، مقادیر ρ_{max} ارائه شده در آن جدول را در سازه‌های با حد شکل‌پذیری زیاد نباید بکار برد.
بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.

تمرین ۱۸: در یک تیر تک دهانه مطابق شکل زیر با بارگذاری گستردهٔ متقارن که با ضوابط سازه‌های با حد شکل‌پذیری زیاد طراحی شده است، مقدار مقاومت خمشی اسمی حداکثر تحت لنگر منفی در مقطع بر تکیه‌گاه برابر ۴۱۲ کیلونیوتن متر به‌دست آمده است. در صورتی‌که از اثر آرماتورهای فشاری صرف‌نظر شود، کدام‌یک از گزینه‌های زیر را می‌توان به عنوان حداقل آرماتورهای خمشی منفی (فوقانی) در مقطع وسط دهانه بکار برد؟ مصالح مصرفی ۳۰ C و ۴۰۰ S بوده و اندازه‌های مشخص شده در شکل برحسب میلی‌متر می‌باشند.



۱) ۳Φ۲۰
۲) ۳Φ۱۸
۳) ۳Φ۱۶
۴) ۳Φ۲۵

● حل: همان‌طور که خواندیم، مقدار حداقل مقاومت خمشی مثبت و منفی در مقاطعی غیر از تکیه‌گاه، حداقل باید یک چهارم مقاومت خمشی حداکثر تکیه‌گاه‌ها باشد. در این‌صورت در وسط دهانه داریم:

$$M_n^- \geq \frac{M_{n,max}}{۴} \Rightarrow M_n^- \geq \frac{۴۱۲}{۴} = ۱۰۳\ kN.m$$

در ادامه با توجه به روابط خمش داریم:

$$M_n = \rho f_y bd^2 (1 - 0/5 \frac{\rho f_y}{\alpha_1 f'_c})$$

$$d = 450\ mm$$

$$103 \times 10^6 = \rho \times 400 \times 400 \times 450^2 \times (1 - 0/5 \times \frac{\rho \times 400}{0/85 \times 30})$$

$$\rho = 0/0033 \quad \Rightarrow \quad A_s = \rho bd = 0/0033 \times 400 \times 450 = 594\ mm^2$$

نکتهٔ مهمی که باید به آن توجه نمایید این است که هرچند می‌خواهیم مساحت آرماتورهای مورد نیاز را مطابق محدودیت‌های مقاومت خمشی به‌دست آوریم، اما لازم است که مقدار آرماتورهای به‌دست آمده با مقادیر حداقل و حداکثر نیز کنترل شود. با توجه به مقدار به‌دست آمده، $\rho \le \rho_{max}$ بوده و مساحت آرماتور حداقل به‌صورت زیر کنترل می‌شود.

$$A_{s,min} = max \left\{ \frac{1/4}{f_y} bd\ ,\ \frac{0/25\sqrt{f'_c}}{f_y} bd \right\}$$

$$A_{s,min} = max \left\{ \frac{1/4}{400} \times 400 \times 450\ ,\ \frac{0/25 \times \sqrt{30}}{400} \times 400 \times 450 \right\} = 630\ mm^2$$

$$A_{s,min} = 630\ mm^2 \ge A_s = 594\ mm^2$$

بنابراین حداقل مساحت میلگردهای خمشی در قسمت فوقانی وسط دهانه برابر $630\ mm^2$ در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اینکه در تمام گزینه‌ها از سه عدد آرماتور استفاده شده است، داریم:

$$3 \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \ge 630 \quad \Rightarrow \quad d_b \ge 16/4\ mm$$

بنابراین گزینهٔ (۲) صحیح است.

تمرین ۱۹: در یک تیر بتن‌آرمهٔ مستطیلی درجا به ابعاد $b \times h$ که مطابق ضوابط سازه‌های با حد شکل‌پذیری زیاد طراحی شده است، از وصله‌های مکانیکی برای میلگردهای طولی استفاده شده است به نحوی که مقاومت وصله بیست درصد بیشتر از مقاومت گسیختگی کششی میلگردها به‌دست آمده است. کدام‌یک از گزینه‌های زیر در خصوص محل مقطع وصله در میلگردهای این تیر صحیح می‌باشد؟

۱) با استفاده از میلگردهای $S400$، حتماً باید وصله خارج از فاصلهٔ دو برابر h از بر تکیه‌گاه باشد.

۲) با استفاده از میلگردهای $S520$، می‌توان میلگردها را در هر مقطعی وصله نمود.

۳) در تمام رده‌های میلگرد مصرفی لازم است وصله خارج از فاصلهٔ دو برابر h از بر تکیه‌گاه قرار بگیرد.

۴) با استفاده از میلگردهای $S520$، محل وصله باید خارج از فاصلهٔ دو برابر h از بر تکیه‌گاه باشد.

حل: همان‌طور که خواندیم، در تیرهایی که در آنها از وصلهٔ مکانیکی استفاده می‌شود، وصله‌ها نباید در فاصلهٔ دو برابر ارتفاع مقطع از بر تکیه‌گاه قرار بگیرند. در صورتی‌که مقاومت وصله حداقل برابر مقاومت گسیختگی کششی آرماتورهای وصله شده باشد، فقط در میلگردهای $S400$ و $S420$ در صورت پیش‌ساخته نبودن تیر، می‌توان وصله را در هر مقطعی در نظر گرفت. دقت شود در صورت استفاده از میلگردهای $S520$، باید محدودیت $2h$ از بر تکیه‌گاه رعایت شود. بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.

آرماتورهای عرضی

در تیرهای مربوط به سازه‌های با حد شکل‌پذیری زیاد، در نواحی که دارای تنش حداکثر هستند، تغییر شکل‌های غیرالاستیک و در نتیجه نیروی برشی نسبتاً بزرگی اتفاق می‌افتد. در این نواحی به منظور اطمینان از عملکرد مناسب تیر، ایجاد محصوریت برای بتن مقطع، جلوگیری از کمانش آرماتورهای طولی و تأمین مقاومت برشی مقطع، لازم است آرماتور عرضی از نوع دورگیر بکار برده شود. نواحی مستعد در این تعریف که نواحی بحرانی نامیده می‌شوند، شامل دو مورد زیر می‌باشند:

۱) طولی معادل دو برابر ارتفاع مقطع از بر هر تکیه‌گاه به‌سمت وسط دهانه،

۲) دو برابر ارتفاع مقطع در دو سمت مقطعی که در آن امکان تشکیل مفصل پلاستیک در اثر تغییرمکان جانبی غیرالاستیک قاب وجود داشته باشد.

در نواحی بحرانی عضو خمشی از آرماتورهای عرضی از نوع دورگیر با ضوابط زیر استفاده می‌کنیم:

۱) حداقل قطر دورگیرها با توجه به قطر میلگردهای طولی، به‌صورت زیر تعیین می‌شود.

$d_b \le ۳۲\,mm \Rightarrow d_v \ge ۱۰\,mm$

و گروه میلگردها $d_b \ge ۳۴\,mm \Rightarrow d_v \ge ۱۲\,mm$

d_b: قطر میلگرد طولی، d_v: قطر میلگرد دورگیر.

۲) فاصلهٔ دورگیرها از یکدیگر بیشتر از مقادیر یک‌چهارم ارتفاع مؤثر مقطع، ۶ برابر قطر کوچکترین میلگرد طولی برای فولاد با مقاومت تسلیم ۴۲۰ مگاپاسکال و کمتر و ۵ برابر قطر کوچک‌ترین میلگرد طولی برای میلگردهای با مقاومت تسلیم ۵۲۰ مگاپاسکال (به جز میلگردهای طولی جلدی) و ۱۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته نشود.

$f_y \le ۴۲۰\,MPa \Rightarrow S_{max} = min\{\frac{d}{۴}, ۶\,d_{b_{min}}, ۱۵۰\,mm\}$

$f_y = ۵۲۰\,MPa \Rightarrow S_{max} = min\{\frac{d}{۴}, ۵\,d_{b_{min}}, ۱۵۰\,mm\}$

۳) فاصلهٔ اولین دورگیر از بر تکیه‌گاه بیشتر از ۵۰ میلی‌متر نباشد.

در قسمت‌هایی از طول تیر که به دورگیر نیاز است، میلگردهای طولی اصلی در مجاورت رویه‌های کششی و فشاری عضو باید دارای تکیه‌گاه عرضی مطابق آنچه در خصوص مهار میلگردهای طولی ستون‌ها در فصل ۶ از جلد اول کتاب خواندیم، باشند. باید توجه شود این دورگیرها باید برای نیروی برشی وارد بر تیر مطابق آنچه در ادامهٔ این بخش خواهیم خواند، طراحی شوند.

یادآوری

به منظور یادآوری شرایط تکیه‌گاه عرضی به شرح زیر می‌باشد.

الف) میلگردهای طولی واقع در گوشهٔ مقطع و سایر میلگردهای طولی به‌صورت یک در میان توسط خم با زاویهٔ کمتر یا مساوی ۱۳۵ درجه مهار شوند.

ب) حداکثر فاصلهٔ آزاد میلگردهای طولی بدون مهار جانبی از یکدیگر برابر ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد.

پ) مهار تنگ‌ها در مقطع مستطیلی توسط قلاب استاندارد که میلگردهای طولی را در بر می‌گیرد، انجام می‌شود.

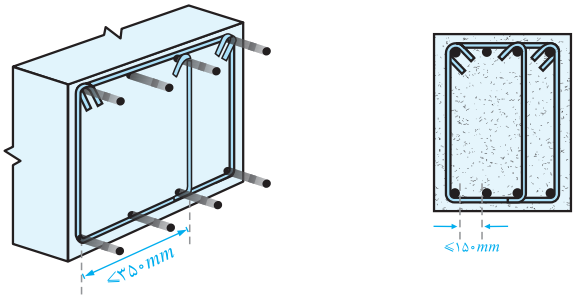
ت) استفاده از مجموعهٔ میلگردهای سردار به عنوان تنگ مجاز نیست.

دقت شود در این خصوص محدودکننده‌ترین ضوابط مربوط به برش و ضوابط دورگیر در نواحی بحرانی ملاک عمل خواهد بود.

بر مبنای بند (۹-۲-۶-۲-۳-۳-۱)

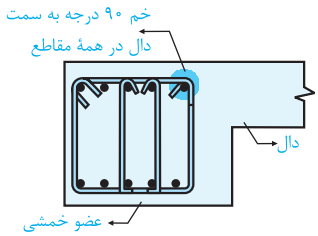
بر مبنای بندهای (۹-۲-۶-۲-۳-۳-۲) و (۹-۲-۶-۲-۳-۳-۳)

دقت شود فاصلهٔ مرکز تا مرکز میلگردهای خمشی که دارای تکیه‌گاه جانبی هستند، بیشتر از ۳۵۰ میلی‌متر نباشد.



در خصوص میلگردهای جلدی که وجود آنها در تیرهای با ارتفاع بیشتر از ۹۰۰ میلی‌متر ضروری می‌باشد (مطابق ضوابط فصل دوم از جلد اول کتاب)، لزومی به رعایت ضوابط تکیه‌گاه عرضی نیست.

دورگیر تیرها را می‌توان توسط دو قطعه میلگرد ساخت. در این‌صورت از یک میلگرد U شکل که در دو انتها دارای قلاب لرزه‌ای باشد، استفاده شده که توسط میلگرد دیگری به شکل سنجاقی با میلگرد اول یک دورگیر بسته را تشکیل می‌دهند. در این خصوص خم ۹۰ درجهٔ سنجاقی‌های متوالی که یک میلگرد طولی را در بر می‌گیرند، باید به‌طور یک در میان در دو سمت تیر قرار داده شوند. در صورتی‌که عضو خمشی در مجاورت دال قرار داشته و میلگردهای طولی که توسط سنجاقی مهار شده‌اند، در ناحیهٔ دال واقع شوند و دال فقط در یک سمت عضو خمشی قرار گرفته باشد، خم ۹۰ درجهٔ سنجاقی‌ها می‌تواند در دال واقع شود.



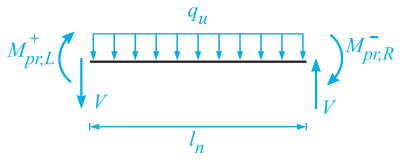
در قسمت‌هایی از طول تیر که نیازی به وجود دورگیر نمی‌باشد، خاموت‌ها باید در دو انتها دارای قلاب لرزه‌ای باشند. در این قسمت‌ها حداکثر فاصلهٔ بکارگیری خاموت‌ها برابر نصف عمق مؤثر تیر در نظر گرفته می‌شود. دقت شود در این مورد ضوابط برش رعایت می‌شود.

در صورتی‌که نیروی محوری فشاری ضریبدار تیرها بیشتر از $0/1 A_g f'_c$ باشد، عملکرد تیر مشابه ستون‌ها در نظر گرفته شده، لذا آرماتورگذاری عرضی نواحی بحرانی در آنها مانند ستون‌ها در نظر گرفته می‌شود. در این تیرها در سایر نواحی غیر از نواحی بحرانی، فاصلهٔ آرماتورهای عرضی در صورت استفاده از آرماتورهای با مقاومت حد تسلیم ۴۲۰ مگاپاسکال و کمتر، به کمترین مقدار ۶ برابر قطر کوچک‌ترین آرماتور طولی تیر و ۱۵۰ میلی‌متر محدود می‌شود. در صورتی‌که مقاومت تسلیم آرماتورها ۵۲۰ مگاپاسکال باشد، محدودیت فوق برابر کمترین مقدار حاصل از ۵ برابر قطر کوچک‌ترین میلگرد طولی و ۱۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. در مواردی که پوشش بتن روی آرماتورهای عرضی از ۱۰۰ میلی‌متر بیشتر است، باید از آرماتورهای عرضی اضافی با پوشش بتن کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر و با فواصل حداکثر ۳۰۰ میلی‌متر استفاده نمود.

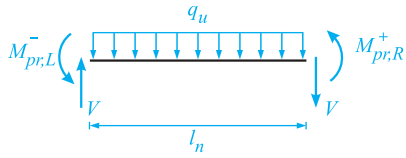
مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان (۹-۳-۱-۶-۹-۱۰-ب) و (۹-۳-۱-۶-۹-۱۰-ج)
مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان (۹-۳-۱-۶-۹-۱۰-ب)

محاسبهٔ برش در تیرها

باتوجه به اینکه در سازه‌های با حد شکل‌پذیری زیاد، اعضاء باید قادر به تحمل نیروهای رفت و برگشتی و همچنین دوران‌های نسبتاً زیاد باشند و نمی‌خواهیم مقطع دچار گسیختگی برشی شود، باید ظرفیت برش مقطع را آنقدر افزایش دهیم (به میزان برش متناظر با پلاستیک شدن خمش) تا اطمینان حاصل کنیم که مقطع در برش غیرخطی نخواهد شد. به همین جهت به‌منظور محاسبهٔ نیروی برشی وارد بر تیرها، با در نظر گرفتن بارهای قائم ضریبدار و با فرض اینکه لنگر دو انتهای تیر به مقدار **لنگر خمشی مقاوم محتمل** (M_{pr}) رسیده باشد، مقدار برش عضو محاسبه می‌شود. دقت شود همان‌طور که در بخش‌های پیش خواندیم، جهت لنگرهای خمشی باید به نحوی درنظر گرفته شود که نیروی برشی ایجاد شده در تیر حداکثر باشد. باتوجه به این توضیحات، برش نهایی تیرها با درنظر گرفتن دو حالت زیر به‌دست می‌آید:



$$V_{e_1} = \frac{M^+_{pr,L} + M^-_{pr,R}}{l_n} + \frac{q_u l_n}{2} \qquad (۱۱-۱۵)$$



$$V_{e_2} = \frac{M^-_{pr,L} + M^+_{pr,R}}{l_n} + \frac{q_u l_n}{2} \qquad (۱۱-۱۶)$$

$$V_e = max\left\{V_{e_1}, V_{e_2}\right\} \qquad (۱۱-۱۷)$$

V_e: نیروی برشی طراحی تیر،

$M^+_{pr,R}$ ، $M^-_{pr,R}$: لنگرهای خمشی مقاوم محتمل مثبت و منفی در تکیه‌گاه سمت راست،

$M^+_{pr,L}$ ، $M^-_{pr,L}$: لنگرهای خمشی مقاوم محتمل مثبت و منفی در تکیه‌گاه سمت چپ،

l_n: طول آزاد تیر،

q_u: بارگذاری قائم ضریبدار وارد بر تیر که با توجه به جدول ترکیب بار، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$q_u = ۱/۲ q_D + ۱/۰ q_L + ۰/۲ q_S + ۱/۰ q_E$$

که در این رابطه q_D، q_L و q_S، بارهای قائم مرده، زنده و برف بوده و q_E نیز بار قائم ناشی از زلزله می‌باشد.

لنگر خمشی مقاوم محتمل

لنگر خمشی مقاوم محتمل در واقع تخمینی از مقاومت مورد انتظار مقطع با در نظر گرفتن فراتر رفتن تنش میلگردها از مقاومت حد تسلیم به علت بروز پدیدهٔ سخت‌شدگی بوده و روش محاسبهٔ آن به‌طور کلی مشابه محاسبهٔ لنگر خمشی مقاوم اسمی است، با این تفاوت که در این حالت مقاومت تسلیم آرماتورهای طولی برابر $۱/۲۵ f_y$ در نظر گرفته شده و از طرفی مقدار ضریب کاهش مقاومت ϕ نیز برابر ۱/۰ می‌باشد. با توجه به این نکته و روابط ارائه شده در فصل خمش، پارامترهای محاسباتی لنگر خمشی مقاوم محتمل در یک مقطع مستطیلی

به شرح زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$a=\frac{۱/۲۵\,A_s f_y}{\alpha_۱ f_c' b} \qquad (۱۸-۱۱)$$

$$M_{pr}=۱/۲۵\,A_s f_y\left(d-\frac{a}{۲}\right) \qquad (۱۹-۱۱)$$

$$M_{pr}=۱/۲۵\,\rho f_y b d^۲\left(۱-۰/۶۲۵\frac{\rho f_y}{\alpha_۱ f_c'}\right) \qquad (۲۰-۱۱)$$

طراحی تیر تحت برش

طراحی برشی تیرهای با حد شکل‌پذیری زیاد، مانند سایر اعضای بتن‌آرمه، براساس کنترل نامساوی زیر انجام می‌شود: $V_u \le \phi V_n$

از طرفی در صورتی‌که دو شرط زیر به‌طور همزمان برقرار باشد، از مقاومت برشی حاصل از بتن در ناحیهٔ بحرانی تیر صرف‌نظر می‌شود. در این‌صورت آرماتورهای عرضی در ناحیهٔ بحرانی باید برای تحمل کل نیروی برشی حاصل از رابطهٔ (۱۱-۱۷) طراحی شوند.

۱) نیروی برشی همساز با لنگر خمشی مقاوم محتمل بزرگتر یا مساوی نصف مقاومت برشی حداکثر در مقاطع بحرانی باشد.

۲) بار محوری فشاری ضریبدار وارد بر مقطع که شامل اثر زلزله نیز می‌باشد، از مقدار $۰/۰۵\,A_g f_c'$ کمتر باشد.

جمع‌بندی

با توجه به توضیحات فوق، به‌طور خلاصه، طراحی برشی مقطع تیرهای با حد شکل‌پذیری زیاد، به‌صورت زیر انجام می‌شود:

$$V_u \le \phi V_n$$

حالت (۱) :
$$\begin{cases} \dfrac{M_{pr,L}+M_{pr,R}}{l_n} \ge \dfrac{۱}{۲}\left(\dfrac{M_{pr,L}+M_{pr,R}}{l_n}+\dfrac{q_u l_n}{۲}\right) \\ N_u < ۰/۰۵\,A_g f_c' \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_c = ۰ \\ V_n = V_s \end{cases}$$

حالت (۲) : در صورت عدم برقراری دو شرط فوق به‌طور همزمان $\Rightarrow V_n = V_c + V_s$

تمرین ۲۰: برای مقطع تیر بتن‌آرمه به عرض ۵۰۰ میلی‌متر و ارتفاع مؤثر ۶۰۰ میلی‌متر و با ۴ میلگرد کششی به قطر ۲۵ میلی‌متر و $f_y = ۴۰۰\,MPa$ و با فرض توزیع تنش یکنواخت عمود بر مقطع در قسمت فشاری بتن برابر $۲۴\,MPa$، نسبت M_{pr} (لنگر خمشی مقاوم محتمل) به M_n (لنگر خمشی مقاوم اسمی) به کدام مقدار نزدیک‌تر است؟ (در محاسبات از اثر آرماتور فشاری صرف‌نظر شود.) (محاسبات - بهمن ۹۷)

۱) ۱/۳۵ ۲) ۱/۲۷ ۳) ۱/۲۳ ۴) ۱/۰۵

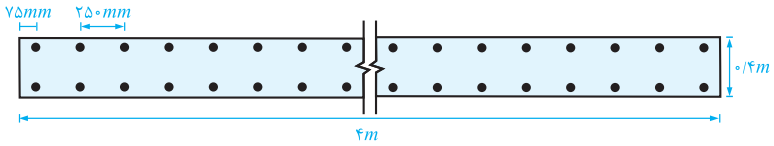
(۱۰-۳۰-۱۰-۶-۰۰۰۱۰-b) چاپ ۲ ویرایش ۲

آزمون محاسبات سال ۱۴۰۱ (شهریور)

۱- محاسبات سازه نشان می‌دهد که شالودهٔ گستردهٔ بدون فولادگذاری برشی زیر یک ستون میانی با ابعاد مقطع ۰/۵×۰/۵ متر، ۱۵ درصد در برابر برش دوطرفهٔ نهایی ضعیف است. چنانچه برای جبران این ضعف از خاموت استفاده شود، سهم مقاومت طراحی فولادهای برشی از کل برش دوطرفهٔ نهایی، حداقل چند درصد باید باشد؟ عمق مؤثر شالوده ۱/۱ متر فرض می‌شود. نزدیک‌ترین گزینه به پاسخ را انتخاب نمایید. برای سادگی، توزیع تنش برشی در پیرامون مقطع بحرانی را یکنواخت فرض کنید. بتن شالوده معمولی است.

۱) ۳۵٪ ۲) ۶۰٪ ۳) ۸۵٪ ۴) ۱۰۰٪

۲- در شکل مقطع بحرانی یک دیوار برشی ویژه برای خمش و بارهای محوری نشان داده شده است. میلگردهای طولی در هر ردیف میلگرد به قطر اسمی ۱۸ میلی‌متر با فواصل تقریبی $250\,mm$ است. نسبت ارتفاع دیوار به طول آن بیش از ۲ بوده و از پایین سازه تا بالای دیوار به طور مؤثر ادامه دارد. چنانچه ردهٔ بتن C ۲۵ و نوع میلگرد S ۴۰۰ بوده و نیروی محوری و لنگر خمشی نهایی حول محور قوی به‌ترتیب $P_u = 2000\,kN$ و $M_u = 3000\,kN.m$ باشد، کدام‌یک از گزینه‌های زیر صحیح خواهد بود؟ (فقط براساس اطلاعات داده شده پاسخ دهید.)

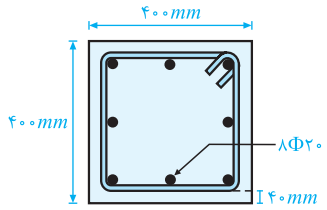


۱) اجزای مرزی مورد نیاز است، اما دورگیر با آرماتور عرضی در لبه‌های انتهایی لازم نیست.
۲) نیاز به اجزای مرزی نیست، اما دورگیر یا آرماتور عرضی در لبه‌های انتهایی لازم است.
۳) اجزای مرزی مورد نیاز است.
۴) در این دیوار نیازی به دورگیر یا آرماتور عرضی در لبه‌های انتهایی نیست.

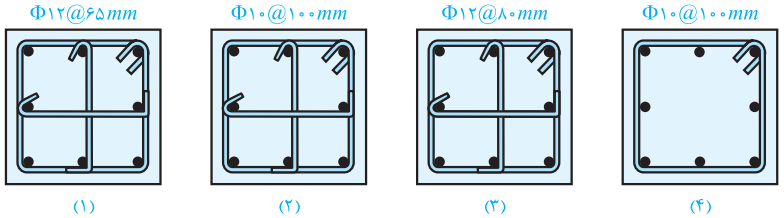
۳- نیروی برشی نهایی در یک شالودهٔ سطحی نواری به عرض ۲ متر و ارتفاع ۰/۸ متر که میلگردهای طولی آن هم در بالا و هم در پایین، جداگانه مطابق با حداقل آرماتور خمشی بوده و فاقد میلگرد برشی (عرضی) است، ۱/۵ برابر مقاومت طراحی تأمین شده توسط بتن ϕV_c است. مقاومت اسمی برشی تأمین شده توسط آرماتورهای برشی موردنیاز در این پی، به کدام‌یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ (مفروضات عبارتند از $f_{yt} = 400\,Mpa$ ، $f'_c = 25\,MPa$ ، $d = 720\,mm$ و بتن معمولی)

۱) $505\,kN$ ۲) $475\,kN$ ۳) $300\,kN$ ۴) $215\,kN$

۴- مقطع عمومی ستون طبقهٔ اول یک ساختمان با سیستم قاب خمشی بتنی با شکل‌پذیری زیاد، مطابق شکل زیر است. مقدار کل آرماتورهای لازم برای برش و پیچش براساس بارهای وارده و برش V_e برابر $\frac{A_v}{S} = 1/1\,mm^2/mm$ است. در صورتی که از تحلیل سازه مقدار $\frac{P_u}{A_g f'_c} = 0/08$ به دست آمده باشد. کدام‌یک از گزینه‌های زیر، حداقل مقدار آرماتورهای عرضی قابل قبول در ناحیهٔ L_o را تأمین می‌کند؟ (ردهٔ آرماتورهای طولی و عرضی S ۴۰۰ و ردهٔ بتن C ۳۰ است.)



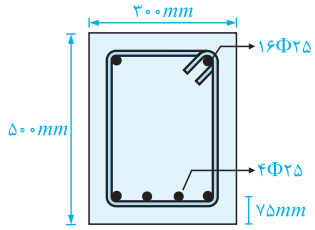
(۱) (۱)
(۲) (۲)
(۳) (۳)
(۴) (۴)



۵- یک دال بتنی توپُر به ابعاد ۷ × ۴ متر، روی چهار تیر بتنی که در امتداد چهار ضلع دال قرار دارند، به صورت ساده تکیه دارد. پوشش بتن زیر پایین‌ترین لایهٔ میلگرد $30\,mm$ است و میلگردها در هر دو امتداد $\Phi 20@200\,mm$ هستند. مدت زمان مقاومت در برابر آتش به منظور تأمین کفایت سازه‌ای برای این دال چند ساعت برآورد می‌شود؟

۱) ۴ ۲) ۳
۳) ۲ ۴) ۱

۶- یک تیر با تکیه‌گاه‌های ساده و دهانهٔ ۶ متر، دارای مقطع نشان داده شده (در وسط دهانه) است. تیر تحت بار مردهٔ $16\,kN/m$ با احتساب وزن تیر و بار زندهٔ $11/2\,kN/m$ قرار دارد، در صورتی که $f'_c = 20\,MPa$ و بتن معمولی با چگالی $2300\,kg/cm^3$ باشد، فقط با در نظر گرفتن ممان اینرسی مؤثر در وسط دهانه، تغییر شکل آنی تحت بار مرده به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ در وسط دهانه $I_{cr} = 17/038 \times 10^8\,mm^4$ است.



۱) $12/6\,mm$ ۲) $10/3\,mm$
۳) $7/4\,mm$ ۴) $5/4\,mm$

۷- هرگاه مقدار آرماتور عرضی ویژهٔ لازم در ناحیهٔ بحرانی برای دورپیچ‌های یک ستون دایره‌ای به قطر ۵۰۰ میلی‌متر برابر $\rho_s = 0/15 \frac{f'_c}{f'_{yt}}$ باشد، فاصله (S) مورد نیاز دورپیچ‌های گام آرماتور عرضی به قطر ۱۰ میلی‌متر، به کدام‌یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر خواهد بود؟ (پوشش بتن ۵۰ میلی‌متر، $f'_c = 30\,MPa$ و $f_{yt} = 400\,MPa$ فرض شود، آرماتور عرضی ویژه کنترل کنندهٔ طرح است.)

۱) $60\,mm$ ۲) $70\,mm$
۳) $80\,mm$ ۴) $90\,mm$

۸- در داخل یک سالن صنعتی محفوظ و روی زمین، یک کف بتنی به ضخامت ۲۰۰ میلی‌متر با بتن C ۲۵ و شبکه میلگرد $\Phi 8@150\,mm$ اجرا شده است. اگر ابعاد این کف ۲۰ × ۲۰ متر باشد، بعد از ۳۰ سال، میزان تغییر طول اضلاع دال به ترتیب ناشی از جمع‌شدگی و خزش چند میلی‌متر است؟ تأثیر محیط زیر دال با روی دال یکسان فرض می‌شود. همچنین شرایط تکیه‌گاهی در لبه‌های دال آزاد فرض شود.

۱) ۱۷ میلی‌متر و تقریباً صفر ۲) ۱۳ و ۲۴ میلی‌متر
۳) تقریباً صفر و ۲۴ میلی‌متر ۴) ۱۳ میلی‌متر و تقریباً صفر