



## شرح و درس آزمون‌های نظام مهندسی مبحث دهم طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی



- ارائه نکات مهم آزمون‌های نظام مهندسی (ویژه داوطلبین عمران محاسبات)
- تفسیر جامع مبحث دهم مقررات ملی ساختمان
- تشریح کامل مفاهیم پایه‌ای سازه‌های فولادی
- پاسخ کامل تشریحی تست‌های آزمون‌ها

مؤلفان:

- سپهر غلامی  
امید رسولی قهرودی



سرشناسه

عنوان و نام پدیدآور

مشخصات نشر

مشخصات ظاهری

شابک

وضعیت فهرست نویسی

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

سپهر، غلامی، ۱۳۶۹ - امید، رسولی قهرودی، ۱۳۴۸

شرح و درس آزمون‌های نظام مهندسی مبحث دهم طرح و اجرا ساختمان‌های فولادی / مؤلفان سپهر غلامی، امید رسولی قهرودی.

تهران : نوآور

۴۱۶ ص.

۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۸۹-۰

فیبیا

ساختمان‌سازی -- صنعت و تجارت -- راهنمای آموزشی (عالی)

Construction industry -- Study and teaching (Higher)

ساختمان‌سازی -- صنعت و تجارت -- آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)

Construction industry -- Examinations, questions, etc. (Higher)

سازه فولادی -- راهنمای آموزشی (عالی)

Steel Structure -- Study and teaching (Higher)

سازه فولادی -- آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)

Steel Structure -- Examinations, questions, etc. (Higher)

سازه فولادی -- استانداردها

Steel Structure -- Standards

TH۷۶۶

۰۷۶/۶۹۰

۵۷۶۴۶۶۵

## شرح و درس آزمون‌های نظام مهندسی مبحث دهم طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی

مؤلفان: سپهر غلامی - امید رسولی قهرودی

ناشر: نوآور

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

مدیر فنی: محمدرضا نصیرنیا

نوبت چاپ: - اول - ۱۳۹۹

شابک: ۰-۴۸۹-۱۶۸-۶۰۰-۹۷۸

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهدای  
ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸،  
طبقه دوم، واحد ۶ تلفن: ۹۲-۱۹۱-۶۶۴۸۴۱۹۱، ۰۲۱-۶۶۴۸۴۱۹۱،  
[www.noavarpub.com](http://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 هرگونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب  
(از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس برداری، نشر الکترونیکی،  
هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم فایبل  
صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده  
و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

مرکز پخش:



نشر نوآور

لطفاً جهت دریافت الحاقات و اصلاحات احتمالی این کتاب به سایت انتشارات نوآور مراجعه فرمایید.

[www.noavarpub.com](http://www.noavarpub.com)

<https://telegram.me/noavarpub>

<https://www.instagram.com/noavarpub>

- ۳-۵ عملکرد اتصالات پیچی ..... ۹۲
- ۴-۵ مشخصات سوراخ‌ها در اتصالات پیچی ..... ۹۳
- ۵-۵ محدودیت‌های مربوط به فواصل سوراخ‌ها ..... ۹۴
- ۶-۵ طراحی اعضای کششی ..... ۹۶
- ۷-۵ طراحی پیچ‌ها در اتصالات اتکایی ..... ۱۱۱
- ۸-۵ طراحی پیچ‌ها در اتصالات اصطکاکی ..... ۱۲۲
- ۹-۵ ملاحظات تکمیلی طراحی پیچ‌ها و اعضای کششی ..... ۱۲۶

۱۳۲

## خودآزمایی فصل پنجم

## فصل ششم: طراحی اعضاء برای نیروی فشاری

- ۱-۶ مقدمه ..... ۱۴۶
- ۲-۶ معادله کمناش الاستیک اولر ..... ۱۴۶
- ۳-۶ محاسبه ضریب طول مؤثر ..... ۱۴۷
- ۴-۶ طراحی ستون‌ها ..... ۱۵۶
- ۵-۶ طراحی اعضای فشاری ساخته شده (مرکب) ..... ۱۷۱

۱۸۱

## خودآزمایی فصل ششم

## فصل هفتم: طراحی اعضاء برای خمش

- ۱-۷ مقدمه ..... ۱۹۲
- ۲-۷ رفتار خمشی تیرها تحت اثر بارهای وارده ..... ۱۹۲
- ۳-۷ تعیین مقاومت خمشی اسمی مقطع ..... ۲۰۹
- ۴-۷ تناسبیات ابعادی مقطع اعضای خمشی ..... ۲۳۴

۲۴۰

## خودآزمایی فصل هفتم

فصل هشتم: طراحی اعضاء برای برش  
و اثر توأم سایر نیروهای وارده

- ۱-۸ مقدمه ..... ۲۵۲
- ۲-۸ مقاومت برشی اعضا بدون ... میدان کششی ..... ۲۵۳
- ۳-۸ مقاومت برشی اسمی اعضای با مقطع لوله‌ای ..... ۲۵۵
- ۴-۸ مقاومت برشی اعضا با توجه به عمل میدان کششی ..... ۲۶۴
- ۵-۸ محاسبه مقاومت پیچشی مقطع ..... ۲۶۷
- ۶-۸ طراحی اعضای ... حالات مختلف نیروهای وارده ..... ۲۶۹

۲۷۳

## خودآزمایی فصل هشتم

## فصل اول: مروری بر مقاومت مصالح و تحلیل سازه

- ۱-۱ مقدمه ..... ۹
- ۲-۱ مروری بر مقاومت مصالح ..... ۹
- ۳-۱ مروری بر مهم‌ترین روابط تحلیلی میان تیرها ..... ۱۹

## فصل دوم: ملاحظات طراحی سازه‌های فولادی

- ۱-۲ مقدمه ..... ۲۴
- ۲-۲ مشخصات مصالح فولادی ..... ۲۴
- ۳-۲ انواع مقاطع رایج فولادی ..... ۲۶
- ۴-۲ علائم، اختصارات و واحدها ..... ۲۷
- ۵-۲ حالت‌های حدی ..... ۲۸
- ۶-۲ روش تنش مجاز ..... ۳۱
- ۷-۲ اصول تحلیل و طراحی ..... ۳۲
- ۸-۲ روش‌های تحلیل و طراحی ..... ۳۵
- ۹-۲ مجموعه جداول اشغال کوچک ..... ۴۲

## فصل سوم: الزامات مقاطع فولادی

- ۱-۳ مقدمه ..... ۴۶
- ۲-۳ تعاریف ..... ۴۶
- ۳-۳ طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمناش موضعی ..... ۴۹
- ۴-۳ طبقه‌بندی مقاطع مختلط از منظر کمناش موضعی ..... ۵۵
- ۵-۳ الزامات لرزه‌ای کمناش موضعی ..... ۵۷

۶۲

## خودآزمایی فصل سوم

## فصل چهارم: ضوابط طراحی جوش

- ۱-۴ مقدمه ..... ۶۵
- ۲-۴ علائم جوشکاری ..... ۶۵
- ۳-۴ انواع اتصالات جوشی ..... ۶۶
- ۴-۴ انواع جوش‌ها ..... ۶۷
- ۵-۴ طراحی جوش ..... ۷۵
- ۶-۴ طراحی جوش گوشه برای حالت‌های مختلف نیروها ..... ۸۰

۸۹

## خودآزمایی فصل چهارم

## فصل پنجم: طراحی بیج و اعضای کششی

- ۱-۵ مقدمه ..... ۹۱
- ۲-۵ انواع پیچ‌ها ..... ۹۱

فصل دوازدهم: الزامات طراحی لرزه‌ای

- ۱-۱۲-۱ مقدمه ..... ۳۴۲
- ۲-۱۲-۲ تعاریف ..... ۳۴۲
- ۳-۱۲-۳ الزامات لرزه‌ای ستون‌ها، ... کف ستون‌ها و وصله تیرها ..... ۳۴۶
- ۴-۱۲-۴ الزامات لرزه‌ای ... قاب‌های خمشی متوسط و ویژه ..... ۳۵۴
- ۵-۱۲-۵ الزامات تکمیلی طراحی ... قاب‌های خمشی معمولی ..... ۳۵۶
- ۶-۱۲-۶ الزامات تکمیلی طراحی ... خمشی متوسط و ویژه ..... ۳۵۷
- ۷-۱۲-۷ الزامات طراحی لرزه‌ای قاب‌های ... همگرای معمولی ..... ۳۷۰
- ۸-۱۲-۸ الزامات طراحی ... مهاربندی شده همگرای ویژه ..... ۳۷۲
- ۹-۱۲-۹ الزامات تکمیلی ... مهاربندی شده واگرا ..... ۳۷۷

خودآزمایی فصل دوازدهم ۳۸۹

فصل سیزدهم: اتصالات گیردار از پیش تأیید شده

- ۱-۱۳-۱ مقدمه ..... ۳۹۹
- ۲-۱۳-۲ الزامات عمومی اتصالات گیردار از پیش تأیید شده ..... ۳۹۹
- ۳-۱۳-۳ انواع اتصالات گیردار از پیش تأیید شده ..... ۴۰۱

خودآزمایی فصل سیزدهم ۴۱۴

- منابع و مآخذ ..... ۴۱۶

فصل نهم: طراحی اعضاء مختلط

- ۱-۹-۱ مقدمه ..... ۲۷۷
- ۲-۹-۲ مقاومت اسمی اعضای با مقطع مختلط ..... ۲۷۷
- ۳-۹-۳ محدودیت‌های مصالح در اعضای با مقطع مختلط ..... ۲۷۸
- ۴-۹-۴ اعضای محوری با مقطع مختلط محاط در بتن ..... ۲۷۹
- ۵-۹-۵ اعضای محوری با مقطع مختلط پر شده با بتن ..... ۲۸۳
- ۶-۹-۶ اعضای خمشی با مقطع مختلط ..... ۲۸۴
- ۷-۹-۷ برش در مقاطع مختلط ..... ۲۹۲
- ۸-۹-۸ ملاحظات، محدودیت‌ها و جزئیات‌بندی ... ..... ۲۹۸

خودآزمایی فصل نهم ۳۰۳

فصل دهم: الزامات حالت‌های حدی بهره‌برداری در تحلیل و طراحی

- ۱-۱۰-۱ مقدمه ..... ۳۰۶
- ۲-۱۰-۲ انواع حالات بهره‌برداری ..... ۳۰۶
- ۳-۱۰-۳ بررسی وقوع ... طراحی در تقابل با یکدیگر ..... ۳۱۱

خودآزمایی فصل دهم ۳۱۵

فصل یازدهم: الزامات عمومی طراحی اتصالات

- ۱-۱۱-۱ مقدمه ..... ۳۱۸
- ۲-۱۱-۲ معرفی انواع اتصالات در سازه‌های فولادی ..... ۳۱۸
- ۳-۱۱-۳ الزامات ویژه بال‌ها و جان ... تحت اثر بارهای متمرکز ..... ۳۲۰
- ۴-۱۱-۴ وصله ستون‌ها ..... ۳۳۵
- ۵-۱۱-۵ کنترل مقاومت اتکایی کف‌ستون‌ها ..... ۳۳۷

خودآزمایی فصل یازدهم ۳۴۰

## جدول بودجه‌بندی سؤالات آزمون ادوار گذشته مبحث دهم (طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی)

درصد	آزمون‌های ادوار گذشته										فصل‌های کتاب
	مهر ۹۸	بهمن ۹۷	اربعمست ۹۷	مهر ۹۶	اسفند ۹۵	شهریور ۹۵	بهمن ۹۴	مرداد ۹۴	ابان ۹۳	خرداد ۹۳	
٪۲	-	-	۱	-	-	-	۱	-	-	۱	فصل اول
٪۲	۱	۱	۱	-	-	-	-	-	-	-	فصل دوم
٪۳	-	-	-	-	-	-	۲	۱	۱	۱	فصل سوم
٪۵	۱	-	۲	۱	۲	-	-	۱	-	۱	فصل چهارم
٪۱۸	۲	۲	۴	۳	۲	۵	۳	۲	۱	۴	فصل پنجم
٪۹	۱	۳	۲	۲	۱	۲	۱	-	-	۱	فصل ششم
٪۲۱	۲	۴	۱	۲	۴	۳	۴	۴	۵	۳	فصل هفتم
٪۹	۲	۲	۱	-	۱	۴	۱	۲	-	۱	فصل هشتم
٪۵	۱	۱	۱	-	-	-	۱	۲	۱	۱	فصل نهم
٪۳	-	-	۲	-	-	۱	۱	-	-	-	فصل دهم
٪۵	۱	-	-	۱	۲	۱	-	-	۱	-	فصل یازدهم
٪۱۶	۶	۱	۱	۴	۳	-	۱	۳	۴	۲	فصل دوازدهم
٪۲	-	۱	-	-	-	-	-	-	۲	-	فصل سیزدهم
٪۱۰۰	۱۷	۱۵	۱۶	۱۴	۱۵	۱۶	۱۶	۱۵	۱۵	۱۵	مجموع

### چند نکته مهم در خصوص نحوه مطالعه کتاب حاضر

- همان‌گونه که در جدول فوق مشخص است، بودجه‌بندی سؤالات فولاد در آزمون محاسبات در چند دوره اخیر ارائه شده است. در فصول اول و دوم کتاب سعی شده مطالب و مفاهیم پایه‌ای در مقاومت مصالح و طراحی سازه‌های فولادی در حد ضرورت برای آزمون محاسبات بررسی شود. اگر چه سهم سؤالاتی که به طور مستقیم از این فصول می‌آیند ناچیز می‌باشد اما درک کامل مفاهیم و مطالب آن‌ها به نوعی پیش‌نیاز سایر فصل‌ها به شمار می‌آیند.
- اگر داوطلبین عزیز فرصت کافی برای مطالعه منابع آزمون محاسبات دارند (حدود ۳ ماه یا بیشتر) به مطالعه کلیه فصول کتاب حاضر بپردازند اما چنانچه مدت زمان محدودی برای مطالعه منابع دارند (حدود ۲ ماه و کمتر) می‌توانند جهت تسریع در روند مطالعه، فصول ۴ و ۵ کتاب (ضوابط جوش، پیچ و اعضای کششی) را به صورت اجمالی مورد بررسی قرار دهند و تمرکز اصلی خودشان را بر روی سایر مطالب این کتاب بگذارند.

## بسمه تعالی

اهمیت درک مفاهیم عمیق و شیرین طراحی سازه‌های فولادی بر جامعه مهندسی عمران پوشیده نیست و شاید تسلط بر این میانی و مفاهیم راهگشای بسیاری از معضلات حرفه‌ای مهندسان باشد. در این راستا، کتاب حاضر، حاصل تلاش مداوم مؤلفین است که با تکیه بر تجربه آموزشی و مهندسی خود در سالیان متوالی، سعی در ارائه اثری متفاوت نموده‌اند. گرچه جهت‌گیری کلی کتاب بر مبنای آزمون محاسبات نظام مهندسی انتخاب شده است؛ اما تأکید مؤلفین بر درک مفاهیم بوده است که هدفی ارزشمندتر محسوب می‌گردد.

کتاب حاضر در ۱۳ فصل تنظیم شده است و در هر فصل دارای مثال‌ها و تمرین‌های متعدد جهت آموزش و درک بهتر مخاطبان می‌باشد.

همچنین در فصل اول این کتاب سعی شده تا حد امکان مفاهیم و مطالب کاربردی از بخش مقاومت مصالح و تحلیل سازه‌ها با زبانی ساده بیان شود تا نیاز خوانندگان به منابع دیگر تا حدی مرتفع سازد. همچنین در روند این اثر از زحمات بی دریغ و تلاش‌های مستمر خانم مهندس ناهید اینانلو مرانلو و آقای مهندس رضا کریمی که امر بازخوانی و کنترل مثال‌های کتاب را بر عهده داشتند صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد.

در پایان علیرغم دقت بسیار زیاد و بازخوانی‌های مکرر این کتاب، بی‌شک کتاب حاضر خالی از خطا و کاستی نیست. مایه بسی خوشحالی و افتخار است که پیشنهادها و نظرات شما خوانندگان عزیز، موجب باری ما در بهبود کیفی و رفع معایب و نواقص احتمالی کتاب باشد.

با احترام فراوان

سپهر غلامی

امید رسولی قهرودی

### خواننده فرهیخته و بزرگوار

نشر نوآور ضمن ارج نهادن و قدردانی از اعتماد شما به کتاب‌های این انتشارات، به استحضارتان می‌رساند که همکاران این انتشارات، اعم از مؤلفان و مترجمان و کارگروه‌های مختلف آماده‌سازی و نشر کتاب، تمامی سعی و همت خود را برای ارائه کتابی درخور و شایسته شما فرهیخته گرامی به‌کار بسته‌اند و تلاش کرده‌اند که اثری را ارائه نمایند که از حداقل‌های استاندارد یک کتاب خوب، هم از نظر محتوایی و غنای علمی و فرهنگی و هم از نظر کیفیت شکلی و ساختاری آن، برخوردار باشد.

با این وجود، علی‌رغم تمامی تلاش‌های این انتشارات برای ارائه اثری با کمترین اشکال، باز هم احتمال بروز ایراد و اشکال در کار وجود دارد و هیچ اثری را نمی‌توان الزاماً مبرا از نقص و اشکال دانست. از سوی دیگر، این انتشارات بنابه تعهدات حرفه‌ای و اخلاقی خود و نیز بنابه اعتقاد راسخ به حقوق مسلم خوانندگان گرامی، سعی دارد از هر طریق ممکن، به‌ویژه از طریق فراخوان به خوانندگان گرامی، از هرگونه اشکال احتمالی کتاب‌های منتشره خود آگاه شده و آنها را در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی آنها رفع نماید.

لذا در این راستا، از شما فرهیخته گرامی تقاضا داریم در صورتی که حین مطالعه کتاب با اشکالات، نواقص و یا ایرادهای شکلی یا محتوایی در آن برخورد نمودید، اگر اصلاحات را بر روی خود کتاب انجام داده‌اید پس از اتمام مطالعه، کتاب ویرایش شده خود را با هزینه انتشارات نوآور، پس از هماهنگی با انتشارات، ارسال نمایید، و نیز چنانچه اصلاحات خود را بر روی برگه جداگانه‌ای یادداشت نموده‌اید، لطف کرده عکس یا اسکن برگه مزبور را با ذکر نام و شماره تلفن تماس خود به ایمیل انتشارات نوآور ارسال نمایید، تا این موارد بررسی شده و در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی کتاب اعمال و اصلاح گردد و باعث هرچه پربارتر شدن محتوای کتاب و ارتقاء سطح کیفی، شکلی و ساختاری آن گردد.

نشر نوآور، ضمن ابراز امتنان از این عمل متعهدانه و مسئولانه شما خواننده فرهیخته و گرانقدر، به‌منظور تقدیر و تشکر از این همدلی و همکاری علمی و فرهنگی، در صورتی که اصلاحات درست و بجا باشند، متناسب با میزان اصلاحات، به‌رسم ادب و قدرشناسی، نسخه دیگری از همان کتاب و یا چاپ اصلاح‌شده آن و نیز از سایر کتب منتشره خود را به‌عنوان هدیه، به انتخاب خودتان، برایتان ارسال می‌نماید، و در صورتی که اصلاحات تأثیرگذار باشند در مقدمه چاپ بعدی کتاب نیز از زحمات شما تقدیر می‌شود.

همچنین نشر نوآور و پدیدآورندگان کتاب، از هرگونه پیشنهادها، نظرات، انتقادات و راه‌کارهای شما عزیزان در راستای بهبود کتاب، و هرچه بهتر شدن سطح کیفی و علمی آن صمیمانه و مشتاقانه استقبال می‌نمایند.



نشر نوآور

تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۸۴۱۹۱

[www.noavarpub.com](http://www.noavarpub.com)

[info@noavarpub.com](mailto:info@noavarpub.com)

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب سال ۱۳۴۸ و آیین‌نامه اجرایی آن مصوب ۱۳۵۰، برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور است. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از مطالب، اشکال، نمودارها، جداول و تصاویر این کتاب، در دیگر کتب، مجلات، نشریات، سایت‌ها و موارد دیگر، و نیز هر گونه بهره‌برداری از مطالب این کتاب تحت هر عنوانی از قبیل چاپ، فتوکپی، اسکن، تایپ از آن، تهیه فایل پی دی اف و عکس‌برداری از کتاب، و همچنین هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، الکترونیکی، سی دی، دی وی دی، فیلم، فایل صوتی یا تصویری و غیره بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع و غیرقانونی بوده و شرعاً نیز حرام است، و متخلفین تحت پیگرد قانونی و قضایی قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه هیچ کتابی از کتب نشر نوآور به صورت فایل ورد یا پی دی اف و موارد این‌چنین، توسط این انتشارات در هیچ سایت اینترنتی ارائه نشده است، لذا در صورتی که هر سایتی اقدام به تایپ، اسکن و یا موارد مشابه نماید و کل یا قسمتی از متن کتب نشر نوآور را در سایت خود قرار داده و یا اقدام به فروش آن نماید، توسط کارشناسان امور اینترنتی این انتشارات، که مسئولیت اداره سایت را به عهده دارند و به طور روزانه به بررسی محتوای سایت‌ها می‌پردازند، بررسی و در صورت مشخص شدن هرگونه تخلف، ضمن اینکه این کار از نظر قانونی غیر مجاز و از نظر شرعی نیز حرام می‌باشد، وکیل قانونی انتشارات از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، پلیس فتا (پلیس رسیدگی به جرایم رایانه‌ای و اینترنتی) و نیز سایر مراجع قانونی، اقدام مقتضی به عمل آورده، طی انجام مراحل قانونی و اقدامات قضایی، خاطیان را مورد پیگرد قانونی و قضایی قرار داده و کلیه خسارات وارده به این انتشارات و مؤلف از متخلفان اخذ خواهد شد.

همچنین در صورتی که هر یک از کتابفروشی‌ها، اقدام به تهیه کپی، جزوه، چاپ دیجیتال، چاپ ریسو، افسست از کتب انتشارات نوآور نموده و اقدام به فروش آن نمایند، ضمن اطلاع‌رسانی تخلفات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و موزعین محترم، از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، اتحادیه ناشران، و انجمن ناشران دانشگاهی و نیز مراجع قانونی و قضایی اقدام به استیفای حقوق خود از متخلف می‌نماید.

**خرید، فروش، تهیه، استفاده و مطالعه از روی نسخه غیراصل کتاب،**

**از نظر قانونی غیرمجاز و شرعاً نیز حرام است.**

انتشارات نوآور از خوانندگان گرامی خود درخواست دارد که در صورت مشاهده هر گونه تخلف از قبیل موارد فوق، مراتب را یا از طریق تلفن‌های انتشارات نوآور به شماره‌های ۰۲۱ ۶۶۴۸۴۱۹۱-۲ و یا از طریق ایمیل انتشارات به آدرس [info@noavarpub.com](mailto:info@noavarpub.com) و یا از طریق منوی تماس با ما در سایت [www.noavarpub.com](http://www.noavarpub.com) به این انتشارات ابلاغ نمایند، تا از تضييع حقوق ناشر، پدیدآورنده و نیز خود خوانندگان محترم جلوگیری به عمل آید، و در راستای انجام این امر مهم، به عنوان تشکر و قدردانی، از کتب انتشارات نوآور نیز هدیه دریافت نمایند.



# فصل اول

## مروری بر مقاومت مصالح و تحلیل سازه

### ۱-۱ مقدمه

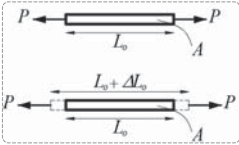
در بخش اول این فصل به کاربردی‌ترین روابط مقاومت مصالح و جمع‌بندی نکات مؤثر در طراحی سازه‌های فولادی پرداخته می‌شود؛ از آنجایی که بخش عظیمی از طراحی سازه‌های فولادی وابسته به نحوه محاسبه پارامترهای هندسی مقطع می‌باشد، لذا عمده مطالبی که در این قسمت مطرح می‌شود، مربوط به محاسبه این پارامترها می‌باشد. پس از آن در بخش دوم، مروری بر مهم‌ترین روابط تحلیلی میان تیرها صورت می‌گیرد.

### ۲-۱ مروری بر مقاومت مصالح

با توجه به آنکه مقاطع فولادی می‌توانند به تنهایی یا در ترکیب با بتن (مقاطع مختلط) نیز مورد استفاده قرار گیرند، لذا مطالب مطرح شده در دو بخش ارائه می‌شود. بنابراین روابط مقاومت مصالح برای مقاطع فولادی (مقطع همگن) و برای مقاطع مختلط (مقاطع ناهمگن) ارائه شده است.

#### ۱-۲-۱ مفهوم تنش و کرنش

به صورت خیلی ساده، اگر به یک میله منشوری نیرویی وارد شود، میله تغییر شکل داده و تنش ایجاد شده در مقطع با کرنش آن متناسب خواهد بود. اگر سطح مقطع میله  $A$ ، طول اولیه آن  $L_0$  و مدول الاستیسیته آن  $E$  باشد و نیروی محوری  $P$  به آن اعمال شود و در اثر بار اعمالی میله به میزان  $\Delta L_0$  تغییر شکل یابد، آنگاه داریم:

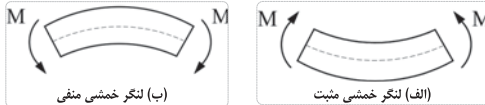


$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ : تنش عمودی (نرمال) در راستای میله مفروض}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} \text{ : کرنش عمودی (نرمال) در راستای میله مفروض}$$

#### ۲-۲-۱ مفهوم لنگر مثبت و لنگر منفی

به شکل‌های زیر توجه شود که تحت اثر لنگر خمشی قرار گرفته‌اند. چنانچه جهت لنگر خمشی مطابق شکل ۱-۱-الف باشد؛ لنگر مثبت (تقعر به سمت بالا) و در غیر این صورت لنگر منفی خواهد بود. در حالتی که لنگر خمشی مثبت باشد، قسمت‌های پایینی مقطع تحت کشش و قسمت‌های فوقانی آن تحت فشار قرار خواهند گرفت.

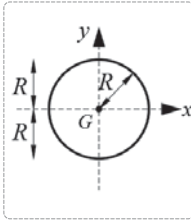


شکل ۱-۱: علامت لنگر خمشی

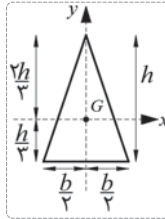
#### ۳-۲-۱ محاسبه مشخصات هندسی در مقاطع همگن

منظور از مقاطع همگن، مقاطعی هستند که از یک نوع مصالح ساخته شده باشند. مهم‌ترین پارامترهای مشخصات هندسی در مقاطع همگن شامل محاسبه مرکز سطح، ممان اینرسی، شعاع ژیراسیون، اساس مقطع الاستیک، ممان اول سطح و اساس مقطع پلاستیک می‌باشد. بخش قابل توجهی از محاسبه مقاطع فولادی مربوط به مشخصات هندسی آن‌ها می‌باشد. ۱-۳-۲-۱ مرکز سطح: در مقاطع همگن محل محور خمشی و مرکز سطح بر یکدیگر منطبق می‌باشد. در شکل ۲-۱ مراکز هندسی چند مقطع پر کاربرد نشان داده شده است که بهتر است به خاطر سپرده شود.

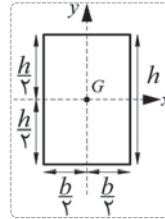
مرکز سطح یک مقطع همواره بر روی محور تقارن آن قرار دارد. بنابراین اگر مقطعی دارای چند محور تقارن باشد، مرکز سطح، قطعاً محل برخورد محورهای تقارن خواهد بود.



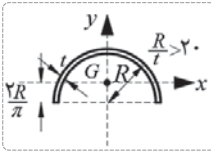
ج- دایره



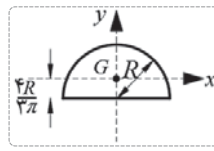
ب- مثلث



الف- مستطیل



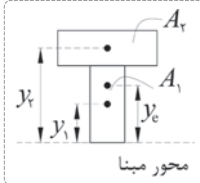
ه- نیم‌دایره جدار نازک



د- نیم‌دایره

شکل ۲-۱: مرکز سطح برخی از مقاطع پرکاربرد

در مقاطع همگنی که از چند جزء تشکیل شده باشند، پس از انتخاب محور مبنا، مرکز سطح از رابطه زیر محاسبه می‌شود. به عنوان مثال، در شکل زیر که از دو جزء تشکیل شده است؛ محور مبنا در پایین‌ترین قسمت مقطع انتخاب شده و مرکز سطح نسبت به آن محاسبه می‌گردد:



$$y_e = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2}$$

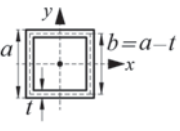
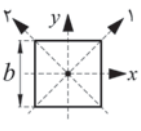
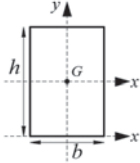
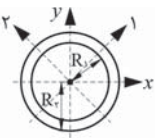
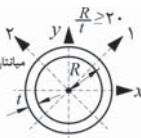
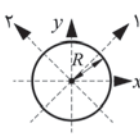
در رابطه فوق،  $A_i$  مساحت هر جزء و  $y_i$  مرکز سطح هر جزء نسبت به محور مبنا می‌باشد.

۲-۳-۲ ممان اینرسی: در شکل‌های زیر ممان اینرسی چند مقطع پرکاربرد نشان داده شده است که توصیه می‌شود به خاطر سپرده شود.

۱- اگر در یک مقطع بیش از دو محور تقارن وجود داشته باشد (مثلث متساوی‌الاضلاع)، ممان اینرسی حول تمامی محورهای آن‌ها با یکدیگر برابر خواهد بود.

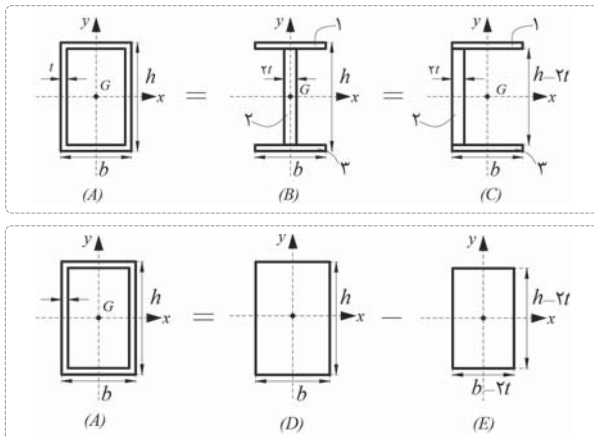
۲- اگر ممان اینرسی حول محور گذرنده از مرکز سطح مقطع ( $I_x$  محور  $x$ ) باشد، ممان اینرسی حول هر محور موازی با محور  $x$  (محور  $x'$ ) از رابطه زیر به دست خواهد آمد. در این رابطه  $A$  مساحت مقطع و  $d$  فاصله مرکز سطح از محور  $x'$  می‌باشد. به عنوان مثال در شکل ۳-۱ الف، ممان اینرسی حول محور  $x'$  نیز ارائه شده است.

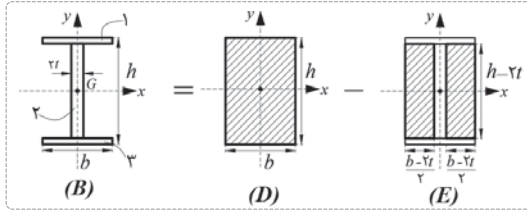
$$I_{x'} = I_x + Ad^2$$

 $I_x = I_y = \frac{y}{3} b^2 t$ <p>ج- مربع جدار نازک</p>	 $I_x = I_y = I_{\eta} = I_{\zeta} = \frac{b^4}{12}$ <p>ب- مربع</p>	 $I_x = \frac{bh^3}{12}, I_y = \frac{hb^3}{12}$ $I_{x'} = \frac{bh^3}{12} + bh\left(\frac{h}{2}\right)^2 = \frac{bh^3}{3}$ <p>الف- مستطیل</p>
 $I_x = I_y = I_{\eta} = I_{\zeta} = \frac{\pi(R_2^4 - R_1^4)}{4}$ <p>و- لوله</p>	 $I_x = I_y = I_{\eta} = I_{\zeta} = \pi R^2 t$ <p>ه- لوله جدار نازک</p>	 $I_x = I_y = I_{\eta} = I_{\zeta} = \frac{\pi R^4}{4}$ <p>د- دایره</p>

شکل ۱-۳: ممان اینرسی برخی از مقاطع پرکاربرد

نکته بسیار کاربردی: ممان اینرسی مقطعی که متشکل از چند جزء می‌باشند برابر با ممان اینرسی تک‌تک اعضا می‌باشد؛ مشروط به آنکه توزیع مصالح حول محور مورد نظر ثابت باشد. در شکل‌های زیر ممان اینرسی مقاطع زیر حول محور  $x$  یا یکدیگر کاملاً برابر می‌باشد چراکه توزیع مصالح حول محور  $x$  ثابت مانده است.





$$I_{x(A)} = I_{x(B)} = I_{x(C)} = I_{x(D)} - I_{x(E)}$$

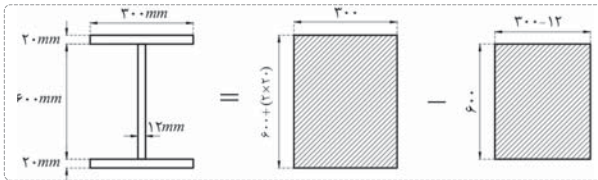
$$I_{x(B)} = I_{x(C)} = I_{x(1)} + I_{x(2)} + I_{x(3)} = 2 \times \left[ \frac{1}{12} \left( b \times t^3 + b \times t \times \left( \frac{h-t}{2} \right)^2 \right) \right] + \frac{1}{12} (2t) \times (h-2t)^3$$

$$I_{x(A)} = I_{x(D)} - I_{x(E)} = \frac{b \times h^3}{12} - \frac{(b-2t) \times (h-2t)^3}{12}$$

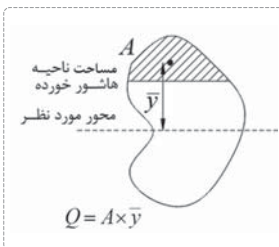
**تمرین ۱۰-۱** ممان اینرسی یک مقطع تیوروق به شکل I با بال‌های مساوی به عرض ۳۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۲۰ میلی‌متر و جان به ارتفاع ۶۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۱۲ میلی‌متر، چند  $mm^4$  است؟ (کارشناس رسمی دادگستری-۹۵)

$$1750 \times 10^6 \text{ (۱)} \quad 1220 \times 10^6 \text{ (۲)} \quad 1960 \times 10^6 \text{ (۳)} \quad 1370 \times 10^6 \text{ (۴)}$$

**حل مساله:** مطابق مطالب گفته‌شده با استفاده از روش دوم، ممان اینرسی مقطع موردنظر را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم.



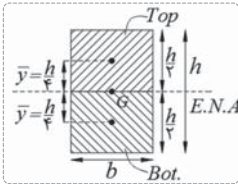
$$I = \frac{300 \times 600^3}{12} - \frac{288 \times 200^3}{12} = 1396,6 \times 10^6 \text{ mm}^4$$



۲-۳-۳-۱ لنگر اول سطح (Q): مقطع دلخواهی به شکل زیر را در نظر بگیرید. به حاصل ضرب مساحت جزء هاشور خورده در فاصله مرکز سطح جزء تا محوری دلخواه (می‌تواند محور گذرنده از مرکز سطح نیز باشد)، لنگر اول سطح می‌گویند و آن را با  $Q$  نمایش می‌دهند. کاربرد لنگر اول سطح در محاسبه تار خنثی الاستیک (E.N.A) در مقاطع مختلف، محاسبه حداکثر تنش برشی در مقاطع و محاسبه اساس مقطع پلاستیک در مقاطع همگن می‌باشد، لذا پارامتری بسیار کاربردی است و لازم است نحوه محاسبه آن به خاطر سپرده شود.

#### نکته

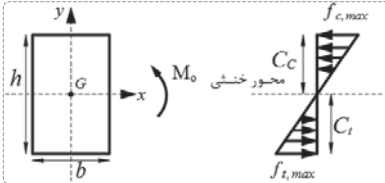
مقدار لنگر اول سطح در بالای تار خنثی الاستیک مقداری مثبت است و در پایین آن منفی بوده و با یکدیگر برابر می‌باشد. بنابراین مجموع لنگر اول سطح حول تار خنثی الاستیک برابر با صفر می‌باشد.



$$Q = A \times \bar{y}$$

$$\begin{cases} (Q_{Top})_{E.N.A} = A_{Top} \times \bar{y}_{Top} = \frac{bh}{2} \times \frac{h}{2} = \frac{bh^2}{4} \\ (Q_{Bot.})_{E.N.A} = A_{Bot.} \times \bar{y}_{Bot.} = \frac{bh}{2} \times (\frac{-h}{2}) = \frac{-bh^2}{4} \end{cases} \Rightarrow \sum Q_{E.N.A} = 0$$

۳-۲-۴ اساس مقطع الاستیک: در اثر اعمال لنگر خمشی تنش‌هایی عمود بر مقطع (در راستای محور طولی عضو) به وجود می‌آید که ممکن است به صورت کششی یا فشاری باشند. مقدار این تنش‌ها از رابطه ذیل به دست می‌آید:



$$f_{c,max} = \frac{M_o C_c}{I} = \frac{M_o}{\frac{I}{C_c}} = \frac{M_o}{S_{xc}}$$

$$f_{t,max} = \frac{M_o C_t}{I} = \frac{M_o}{\frac{I}{C_t}} = \frac{M_o}{S_{xt}}$$

♦ موارد مرتبط با تنش‌های ناشی از لنگر خمشی در قالب نکات زیر قابل جمع‌بندی است:

۱- با مشاهده شکل فوق، ملاحظه می‌گردد که در محوری از مقطع، تنش صفر می‌باشد که به آن، محور خنثی الاستیک (ENA) گفته می‌شود.

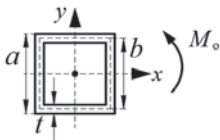
۲- حداکثر تنش خمشی در دورترین نقطه نسبت به تار خنثی رخ می‌دهد.

۳- در مقاطع فولادی با توجه به منحنی تنش کرنش فولاد، حداکثر تنش در ناحیه کششی و فشاری برابر با  $F_y$  می‌باشد.

۴- حاصل تقسیم ممان اینرسی الاستیک به فاصله دورترین تار از محور خنثی الاستیک مقطع، اساس مقطع الاستیک می‌باشد که با پارامتر  $S$  نمایش داده می‌شود. در شکل ۱-۴ اساس مقطع الاستیک برای برخی از مقاطع پر کاربرد ارائه شده است.

۳-۲-۵ شعاع ژیراسیون: طبق تعریف، شعاع ژیراسیون مقطع از رابطه  $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$  به دست می‌آید و عمده کاربرد آن در محاسبات مربوط به محاسبه لاغری در اعضای فشاری فولادی می‌باشد.

در شکل ۱-۴ شعاع ژیراسیون برخی از مقاطع معروف ارائه شده است.

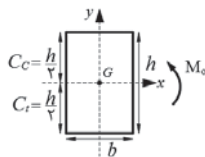


$$S_{xc} = \frac{I}{C_c} = \frac{\frac{\sum b^2 r_t}{r}}{\frac{b}{r}} = \frac{4b^2 r_t}{r}$$

$$S_{xt} = \frac{I}{C_t} = \frac{\frac{\sum b^2 r_t}{r}}{\frac{b}{r}} = \frac{4b^2 r_t}{r}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{\sum b^2 r_t}{r}}{4bt}} = \frac{b}{\sqrt{2}} \approx \cdot / \cdot b$$

ب- مربع جدار نازک

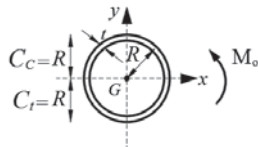


$$S_{xc} = \frac{I}{C_c} = \frac{\frac{bh^2}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{bh^2}{6}$$

$$S_{xt} = \frac{I}{C_t} = \frac{\frac{bh^2}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{bh^2}{6}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{bh^2}{12}}{bh}} = \frac{h}{\sqrt{12}} \approx \cdot / \cdot rh$$

الف- مستطیل

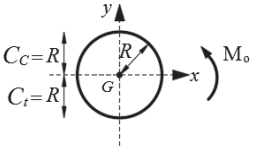


$$S_{xc} = \frac{I}{C_c} = \frac{\pi R^3 t}{R} = \pi R^2 t$$

$$S_{xt} = \frac{I}{C_t} = \frac{\pi R^3 t}{R} = \pi R^2 t$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi R^3 t}{\pi R t}} = \sqrt{\frac{R^3}{R}} = \sqrt{R^2} = R \approx 0.707R$$

د- حلقه جدار نازک



$$S_{xc} = \frac{I}{C_c} = \frac{\frac{\pi R^4}{4}}{R} = \frac{\pi R^3}{4}$$

$$S_{xt} = \frac{I}{C_t} = \frac{\frac{\pi R^4}{4}}{R} = \frac{\pi R^3}{4}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi R^4}{4}}{\pi R t}} = \sqrt{\frac{R^3}{4t}} = 0.5 \sqrt{R^3/t}$$

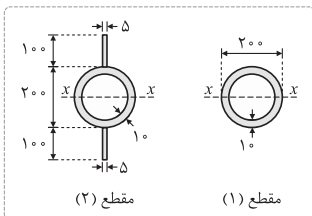
ج- دایره

شکل ۱-۴. اساس مقطع الاستیک و شعاع ژیراسیون برخی از مقاطع پر کاربرد

**تمرین ۲-۱** در خصوص ممان اینرسی، اساس مقطع الاستیک و اساس مقطع پلاستیک مقاطع نشان داده شده در شکل

زیر نسبت به محور  $x$  کدام یک از گزینه‌های زیر صحیح نمی‌باشد؟ «ابعاد مقاطع به میلی‌متر است» (محاسبات-ار دیپشمت ۹۷)

- (۱) ممان اینرسی مقطع (۲) بزرگ‌تر از ممان اینرسی مقطع (۱) است.
- (۲) اساس مقطع الاستیک مقطع (۲) بزرگ‌تر از اساس مقطع الاستیک مقطع (۱) است.
- (۳) اساس مقطع الاستیک مقطع (۲) کوچک‌تر از اساس مقطع الاستیک مقطع (۱) است.
- (۴) اساس مقطع پلاستیک مقطع (۲) بزرگ‌تر از اساس مقطع پلاستیک مقطع (۱) است.



**حل مسأله:** برای بررسی تمام گزینه‌ها (به جز گزینه ۴) نیاز به یافتن ممان اینرسی مقطع می‌باشد. با توجه به

توزیع مصالح بیشتر مقطع در طرفین مرکز سطح در مقطع شماره (۲) نسبت به مقطع شماره (۱) می‌توان گفت که ممان اینرسی مقطع شماره (۲) بزرگ‌تر از ممان اینرسی مقطع شماره (۱) خواهد بود ( $I_2 > I_1$ ). برای یافتن دقیق‌تر ممان اینرسی مقاطع به صورت زیر عمل می‌شود:

$$R = \frac{200 - 2 \times (\frac{10}{2})}{2} = 95 \text{ mm}$$

$$I_1 = \pi R^3 t = \pi \times 95^3 \times 10 = 26,93 \times 10^6 \text{ mm}^4 \Rightarrow S_1 = \frac{26,93 \times 10^6}{100} = 26,93 \times 10^4 \text{ mm}^3$$



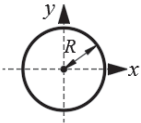
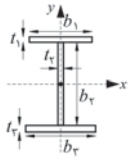
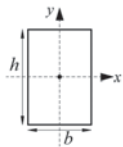
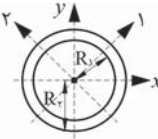
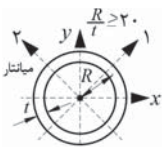
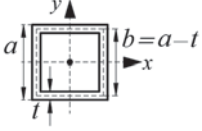
$$I_y = \pi R^3 t + 2 \left[ \frac{b h^3}{12} + b h d^2 \right] = \pi \times 95^3 \times 10 + 2 \times \left[ \frac{5 \times 10^3}{12} + 5 \times 100 \times 15^2 \right] = 50,27 \times 10^6 \text{ mm}^4 \Rightarrow S_y = \frac{50,27 \times 10^6}{200} = 25,13 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

توجه شود که برای محاسبه ممان اینرسی از شعاع میان تار مقطع استفاده شده است.

## تذکره

برای محاسبه اساس مقطع پلاستیک مقطع بایستی به ضوابط فصل ۷ رجوع نمود.

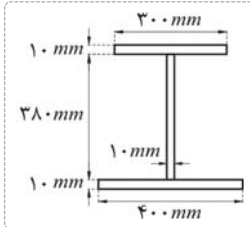
۲-۳-۶ ثابت پیچشی ( $J$ ): در شکل ۱-۵، ثابت پیچشی چند مقطع پر کاربرد نشان داده شده است که در فصل‌های آتی کاربرد آن‌ها را خواهیم دید.

 $J = \frac{\pi R^4}{2}$ <p>ج- دایره</p>	 $J = \sum_{i=1}^n \frac{1}{3} b_i t_i^3 = \frac{1}{3} [b \times t^3 + b_r \times t_r^3 + b_r \times t_r^3]$ <p>(<math>b_i</math> ضلع بزرگ‌تر جزء)</p> <p>ب- مقاطع جدار نازک باز (مقاطع <math>I</math> شکل یا <math>L</math> شکل)</p>	 $J = C_y h b^3$ <p>(<math>h</math> ضلع بزرگ‌تر مقطع)</p> <p>برای مقطع مربعی <math>C_y = 0,14</math> می‌باشد.</p> <p>الف- مستطیل</p>
 $J = \frac{\pi (R_2^4 - R_1^4)}{2}$ <p>و- لوله</p>	 $J = \frac{4A_m^2}{\sum \frac{b_i}{t}} = \frac{4(\pi R^2)^2}{2\pi R t} = 2\pi R^3 t$ <p>ه- لوله جدار نازک بسته</p>	 $J = \frac{4A_m^2}{\sum \frac{b_i}{t}} = \frac{4(b^2)^2}{4 \times \frac{b}{t}} = b^3 t$ <p>د- مربع جدار نازک بسته</p>

**تمرین ۳-۱** تیر ورقی با مقطع زیر از فولاد ST ۳۷ ( $F_u = ۳۸۰MPa$ ,  $F_y = ۲۴۰MPa$ ) با اتصال جوش

جان به بال ساخته شده و تحت خمش مثبت قرار دارد. مقدار اساس مقطع الاستیک نسبت به دورترین تار فشاری و دورترین تار کششی مقطع بر حسب  $mm^3$  به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (بر گرفته از

آزمون محاسبات-خرداد ۹۳)

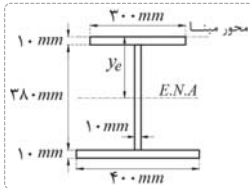


$$۱) ۱,۴۱ \times ۱۰^۶ \text{ و } ۱,۶۹ \times ۱۰^۶$$

$$۲) ۱,۶۹ \times ۱۰^۶ \text{ و } ۱,۴۱ \times ۱۰^۶$$

$$۳) ۱,۷۹ \times ۱۰^۶ \text{ و } ۱,۵۱ \times ۱۰^۶$$

$$۴) ۱,۵۱ \times ۱۰^۶ \text{ و } ۱,۷۹ \times ۱۰^۶$$



**حل مساله:** در خمش مثبت بخشی از مقطع که در بالای محور خنثی الاستیک (ENA) قرار می‌گیرد در فشار و بخش زیرین آن در کشش قرار دارند. حال به محاسبه اساس مقطع الاستیک پرداخته می‌شود. در این سؤال محور مبنا در بالاترین نقطه مقطع در نظر گرفته شده است:

$$y_e = \frac{\sum_{i=1}^3 A_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^3 A_i} = \frac{۳۰۰ \times ۱۰ \times ۵ + ۳۸۰ \times ۱۰ \times ۲۰۰ + ۴۰۰ \times ۱۰ \times ۳۹۵}{۳۰۰ \times ۱۰ + ۳۸۰ \times ۱۰ + ۴۰۰ \times ۱۰} = ۲۱۸,۰۶ mm$$

$$I_x = \left[ \frac{1}{12} (۳۰۰ \times ۱۰^3) + (۳۰۰ \times ۱۰ \times (۲۱۸,۰۶ - ۵)^2) \right] + \left[ \frac{1}{12} (۱۰ \times ۳۸۰^3) + (۱۰ \times ۳۸۰ \times (۲۱۸,۰۶ - ۲۰۰)^2) \right] + \left[ \frac{1}{12} (۴۰۰ \times ۱۰^3) + (۴۰۰ \times ۱۰ \times (۳۹۵ - ۲۱۸,۰۶)^2) \right] = ۳۰۸۴۳۹۱۶۶,۷ mm^4$$

$$\begin{cases} S_{xc} = \frac{I_x}{C_c} = \frac{۳۰۸۴۳۹۱۶۶,۷}{۲۱۸,۰۶} = ۱,۴۱ \times ۱۰^۶ mm^3 \\ S_{xt} = \frac{I_x}{C_t} = \frac{۳۰۸۴۳۹۱۶۶,۷}{۴۰۰ - ۲۱۸,۰۶} = ۱,۶۹ \times ۱۰^۶ mm^3 \end{cases}$$

گزینه ۲ صحیح است.

### ۴-۲-۱ محاسبه خصوصیات مقاطع ناهمگن (مختلط) در حالت الاستیک

مقاطع ناهمگن به مقاطعی گفته می‌شود که از دو یا چند نوع مصالح مختلف تشکیل شده باشند. در این‌گونه مقاطع ابتدا بایستی مقطع همگن معادل را تشکیل داد و سپس بقیه مشخصات هندسی را از آن اقتباس نمود. مقاطع بتن‌آرمه و تیرهای کامپوزیت در سازه‌های فولادی از جمله مقاطع ناهمگن به حساب می‌آیند.

تکنیک محاسبه پارامترهای الاستیک در دو حالت فوق، کمی با یکدیگر متفاوت است که در ادامه به آن پرداخته شده است.

**۴-۲-۱-۱ محاسبه خصوصیات الاستیک در تیرهای بتن‌آرمه با لحاظ نمودن اثرات آرما تورها:** فرض کنید یک

مقطع مستطیلی مطابق شکل زیر تحت اثر خمش مثبت قرار دارد. چنانچه مدول الاستیسیته بتن و فولاد به ترتیب

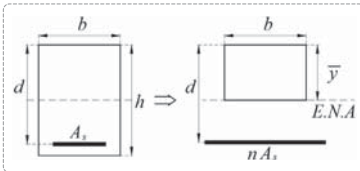
برابر  $E_s$  و  $E_c$  باشد؛ کافی است که میزان آرما تورها را به نسبت  $n = \frac{E_s}{E_c}$  افزایش دهیم تا مقطع معادل بتنی حاصل

شود. بدین ترتیب می‌توان تار خنثی و ممان اینرسی مقطع تبدیل یافته را مطابق زیر محاسبه نمود.



### باداوری

۱: از بحث طراحی سازه‌های بتن‌آرمه به یاد داریم که مقاطع بتنی در مقابل کشش بسیار ضعیف بوده و دچار ترک خوردگی می‌شوند و لذا در قسمت‌های ترک‌خورده از آن‌ها صرف‌نظر می‌شود.  
 ۲: مطابق بخش‌های قبل می‌دانیم که مجموع لنگر اول سطح حول تار خنثی برابر با صفر می‌باشد بنابراین می‌توان تار خنثی و اساس مقطع الاستیک آن را تعیین نمود.



$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$\sum Q_{E.N.A} = 0 \Rightarrow b \bar{y} \left( \frac{\bar{y}}{2} \right) = n A_s (d - \bar{y}) \Rightarrow \bar{y} = \dots$$

$$I_{tr} = \frac{1}{3} b \bar{y}^3 + n A_s (d - \bar{y})^2$$

### نکته

با فرض چسبندگی کامل بین بتن و فولاد، لذا کرنش در مقاطع فولادی و بتنی یکسان در نظر گرفته می‌شود و داریم:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s \Rightarrow \frac{\sigma_c}{E_c} = \frac{\sigma_s}{E_s} \Rightarrow \sigma_s = \frac{E_s}{E_c} \sigma_c = n \sigma_c$$

بنابراین تنش در قسمت فولادی مقطع،  $n$  برابر تنش در قسمت بتنی مقطع می‌باشد.  
 حال تنش فشاری و تنش کششی ماکزیمم در مصالح بتنی و فولادی محاسبه می‌شود:

$$\sigma_{c,max} = \frac{M \bar{y}}{I_{tr}} \quad \text{حداکثر تنش فشاری در بتن}$$

که در آن:

$I_{tr}$ : ممان اینرسی مقطع تبدیل یافته

$\bar{y}$ : فاصله تار خنثی الاستیک تا دورترین تار فشاری مقطع

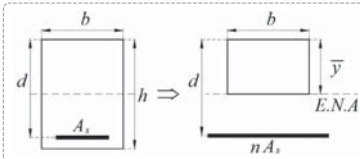
$$\sigma_{s,max} = n \frac{M (d - \bar{y})}{I_{tr}} \quad \text{حداکثر تنش کششی در فولاد}$$

**تمرین ۴-۱** تیری با ابعاد مقطع  $b = 300 \text{ mm}$ ،  $h = 500 \text{ mm}$  و  $d = 430 \text{ mm}$  با آرمانور کششی  $3\Phi 25$

مفروض است. در صورتی که نوع بتن  $C25$  و نوع فولاد  $S400$  و نسبت مدول الاستیسیته فولاد به مدول الاستیسیته بتن  $n = 8$  فرض شود، ممان اینرسی مقطع ترک‌خورده با در نظر گرفتن اثر آرمانورها برحسب  $\text{mm}^4$  به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (محاسبات - بهمن ۹۴)

$$1) \quad 1260 \times 10^6 \quad 2) \quad 1560 \times 10^6 \quad 3) \quad 1860 \times 10^6 \quad 4) \quad 960 \times 10^6$$

**حل مساله:** با توجه به مطالب ارائه شده در درسنامه داریم:



$$\sum Q_{E.N.A} = 0 \Rightarrow b \bar{y} \left( \frac{\bar{y}}{2} \right) = n A_s (d - \bar{y}) \Rightarrow 300 \times \bar{y} \times \frac{\bar{y}}{2} = 8 \times 3 \times (\frac{\pi}{4} \times 25^2) \times (430 - \bar{y}) \Rightarrow \bar{y} = 148,65 \text{ mm}$$

$$I_{tr} = \frac{1}{3} b \bar{y}^3 + n A_s (d - \bar{y})^2 = \frac{1}{3} \times 300 \times 148,65^3 + 8 \times 3 \times (\frac{\pi}{4} \times 25^2) \times (430 - 148,65)^2 \Rightarrow I_{tr} = 1261,02 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

گزینه ۱ صحیح است.

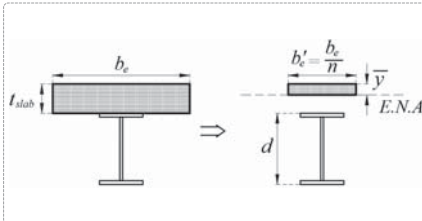
۲-۴-۲-۱ محاسبه خصوصیات الاستیک در تیرهای کامپوزیت در سازه‌های فلزی: در تیرهای کامپوزیت نیز، روندی مشابه با حالت قبل استفاده می‌شود با این تفاوت که در این حالت بتن تبدیل به فولاد می‌شود و عرض مؤثر مقطع تقسیم بر  $n$  می‌گردد.

در این حالت نیز در غالب موارد، تار خنثی در داخل بتن واقع شده و قسمتی از بتن که تحت کشش است ترک خورده و از آن در محاسبات صرف‌نظر می‌شود. بنابراین ابتدا با فرض آنکه تار خنثی داخل مقطع بتنی قرار دارد، به محاسبه تار خنثی پرداخته و چنانچه ارتفاع تار خنثی کمتر از ضخامت دال بتنی باشد، فرض انجام‌شده صحیح می‌باشد، در غیر این صورت بایستی محاسبات اصلاح گردد.

**نکته**

در صورتی که مقطع  $I$  شکل در تیر کامپوزیت، دارای بال‌های نامساوی باشد و بال پایینی بزرگ‌تر از بال بالایی باشد، یا در صورتی که مساحت یا ارتفاع تیر فلزی زیاد باشد، احتمال قرار گیری تار خنثی در مقطع فلزی بیشتر است.

حال فرض کنید یک مقطع  $I$  شکل با بال‌های مساوی مطابق شکل زیر، تحت اثر خمش مثبت قرار دارد. با فرض آنکه تار خنثی الاستیک در مقطع بتنی قرار می‌گیرد، داریم:



$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$\sum Q_{E.N.A} = 0$$

$$\Rightarrow b'_e \times y \times \frac{y}{3} = A_s \times \left( \frac{d}{3} + t_{slab} - y \right) \Rightarrow y = \dots$$

$$I_{tr} = I_s + A_s \times \left( \frac{d}{3} + t_{slab} - y \right)^2 + \frac{b'_e \cdot y^3}{3}$$

که در آن:

$b_e$ : عرض مؤثر دال       $b'_e$ : عرض مؤثر مقطع تبدیل یافته

حال تنش فشاری و تنش کششی ماکزیمم در مصالح بتنی و فولادی محاسبه می‌شود. دقت شود، به دلیل آنکه مقطع بتنی به فولاد تبدیل شده است، لذا بایستی تنش فشاری در بتن به  $n$  تقسیم گردد تا تنش واقعی در آن به دست آید (به حالت قبل رجوع شود).

$$\sigma_{c,max} = \frac{1}{n} \times \frac{M y}{I_{tr}}$$

$$\sigma_{s,max} = \frac{M (d + t_{slab} - y)}{I_{tr}}$$

**تمرین ۵-۱** اساس مقطع تیر مختلط زیر «در محاسبات تنش» نسبت به تار پایینی مقطع تقریباً چقدر است؟

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 8 \quad A_{IPE 180} = 23,9 \text{ cm}^2 \quad I_{X- IPE 180} = 1370 \text{ cm}^4 \quad ( \text{محاسبات - شهریور ۹۱ - با کمی تغییر} )$$

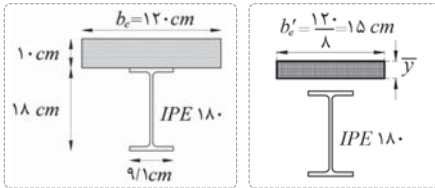
$$296,75 \text{ cm}^3 \quad (1) \quad 348,1 \text{ cm}^3 \quad (2) \quad 734,9 \text{ cm}^3 \quad (3) \quad 955,3 \text{ cm}^3 \quad (4)$$

**حل مساله:** با استفاده از ضریب  $n$  بتن را تبدیل به فولاد می‌کنیم تا مقطعی همگن داشته باشیم. (

$$b'_e = \frac{b_e}{n} = \frac{120}{8} = 15 \text{ cm}$$

با توجه به مطالب ارائه شده در درسنامه، مطابق زیر عمل می‌شود: ابتدا فرض می‌شود که تار خنثی در داخل بتن

$$\text{قرار می‌گیرد ( } \bar{y} \leq 10 \text{ cm )}$$



$$\sum Q_{E.N.A} = 0 \Rightarrow 15 \times \bar{y} \times \frac{\bar{y}}{2} = 23.9 \times (9 + 10 - \bar{y}) \Rightarrow \bar{y} = 6.35 \text{ cm} \leq 10 \text{ cm}$$

بنابراین فرض انجام شده صحیح می‌باشد.

$$I_{tr} = 1320 + 23.9 \times (19 - 6.35)^2 + \frac{15}{3} \times 6.35^3 = 6424.78 \text{ cm}^4$$

$$S_{x \text{ bot}} = \frac{I_{tr}}{C_{bot}} = \frac{6424.78}{(18 + 10 - 6.35)} = 296.75 \text{ cm}^3$$

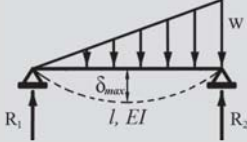
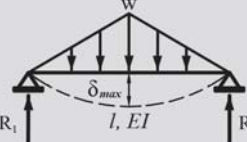
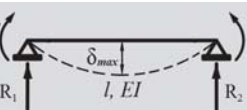
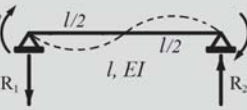
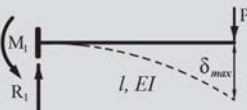
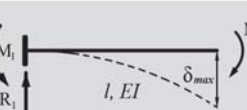
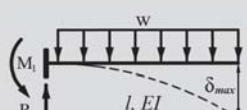
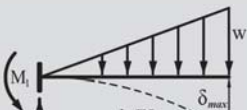
گزینه ۱ صحیح است.

### ۳-۱ مروری بر مهم‌ترین روابط تحلیلی میان تیرها

در این بخش به بررسی مهم‌ترین روابط تحلیلی میان تیرها، از جمله نحوه محاسبه خیز و واکنش‌های تکیه‌گاهی برخی از تیرها پرداخته می‌شود که در آزمون‌های نظام‌مهندسی نیز بسیار پر کاربرد هستند. برای کسب اطلاعات بیشتر در خصوص نحوه محاسبه این پارامترها می‌توان به مراجع معتبر در زمینه تحلیل سازه‌ها مراجعه نمود.

#### جدول ۱-۱: روابط تحلیلی تیرها

برخی از مهم‌ترین روابط تحلیلی رایج در تیرها	شکل تیر	ردیف
$R_1 = R_2 = \frac{P}{2}$ $M_{max} = \frac{Pl}{4}$ $\delta_{max} = \frac{Pl^3}{48EI}$		۱
$R_1 = \frac{Pb}{l}, R_2 = \frac{Pa}{l}$ $M_{max} = \frac{Pab}{l}$ $\delta_{max} = \frac{Pa^2b^2}{3EI l}$		۲
$R_1 = R_2 = \frac{wl}{2}$ $M_{max} = \frac{wl^2}{8}$ $\delta_{max} = \frac{5wl^4}{384EI}$		۳

برخی از مهم‌ترین روابط تحلیلی رایج در تیرها	شکل تیر	ردیف
$R_{\downarrow} = \frac{wl}{6}, R_{\uparrow} = \frac{wl}{3}$ $M_{max} = \frac{wl^2}{6}$ $\delta_{max} = \frac{wl^3}{6EI}$		۴
$R_{\downarrow} = R_{\uparrow} = \frac{wl}{4}$ $M_{max} = \frac{wl^2}{12}$ $\delta_{max} = \frac{wl^3}{12EI}$		۵
$R_{\downarrow} = R_{\uparrow} = 0$ $\delta_{max} = \frac{M_o l^2}{\lambda EI}$		۶
$R_{\downarrow} = R_{\uparrow} = \frac{\gamma M_o}{l}$		۷
$R_{\downarrow} = P$ $M_{\downarrow} = Pl$ $\delta_{max} = \frac{Pl^2}{\gamma EI}$		۸
$R_{\downarrow} = 0$ $M_{\downarrow} = M_o$ $\delta_{max} = \frac{M_o l^2}{\gamma EI}$		۹
$R_{\downarrow} = wl$ $M_{\downarrow} = \frac{wl^2}{\gamma}$ $\delta_{max} = \frac{wl^3}{\lambda EI}$		۱۰
$R_{\downarrow} = \frac{wl}{\gamma}$ $M_{\downarrow} = \frac{wl^2}{\gamma}$ $\delta_{max} = \frac{11 wl^3}{12 EI}$		۱۱

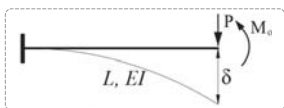
برخی از مهم ترین روابط تحلیلی رایج در تیرها	شکل تیر	ردیف
$R_v = \frac{wl}{2}$ $M_v = \frac{wl^2}{6}$ $\delta_{max} = \frac{wl^3}{30EI}$		۱۲
$R_v = R_r = \frac{P}{2}$ $M_v = M_r = \frac{Pl}{4}$ $\delta_{max} = \frac{Pl^3}{192EI}$		۱۳
$M_v = \frac{Pb^2a}{l^2}, M_r = \frac{Pa^2b}{l^2}$ $\delta = \frac{Pa^2b^2}{3EI l^3}$		۱۴
$R_v = R_r = \frac{wl}{2}$ $M_v = M_r = \frac{wl^2}{12}$ $\delta_{max} = \frac{wl^3}{384EI}$		۱۵

## نکته

۱- برای تبدیل یک بار گسترده سطحی یکنواخت به بار گسترده خطی بر روی یک تیر، کافی است که بار گسترده سطحی یکنواخت را در عرض بارگیر تیر ضرب نماییم. برای تبدیل بار گسترده خطی به بار متمرکز بر روی یک تیر، کافی است که بار گسترده خطی را در طول تیر ضرب نماییم. نحوه تبدیل بار متمرکز به بار گسترده سطحی یکنواخت هم دقیقاً بر عکس حالت فوق عمل می‌شود. بدین ترتیب که بار متمرکز ابتدا بر طول تیر تقسیم شده و بار گسترده خطی تیر به دست می‌آید و سپس بر عرض بارگیر تیر تقسیم شده تا بار گسترده سطحی یکنواخت چشمه تیر به دست آید. برای کسب اطلاعات تکمیلی به مراجع معتبر در زمینه بارگذاری سازه‌ها مراجعه شود.

۲- روابط فوق با فرض رفتار اعضا در ناحیه خطی (الاستیک) به دست آمده است. بنابراین می‌توان از اصل برهم نهی اعضا (سوپر پوزیشن) استفاده نمود. طبق این اصل، اگر بخواهیم خیز و یا واکنش‌های تکیه‌گاهی را تحت اثر دو یا چند حالت بارگذاری به دست بیاوریم، کافی است که هر کدام از موارد ذکر شده را به صورت مجزا حساب نمود و سپس نتایج آن‌ها را با یکدیگر ترکیب کرد. به تمرین زیر توجه شود:

**تمرین ۶-۱** در تیر نشان داده شده مقدار  $M_o$  چقدر باشد تا تغییر مکان انتهایی تیر صفر شود؟



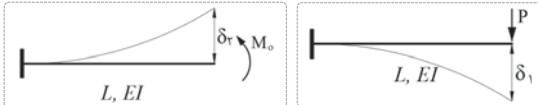
$$\frac{3PL}{2} \quad (۲)$$

$$\frac{2PL}{3} \quad (۴)$$

$$\frac{PL}{6} \quad (۱)$$

$$\frac{PL}{3} \quad (۳)$$

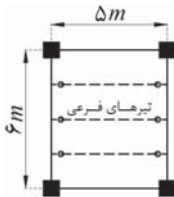
**حل مساله:** برای حل این سؤال، طبق نکات ارائه شده در درسنامه از اصل سوپربوزیشن استفاده می‌شود و یک مرتبه جابجایی تحت اثر نیروی متمرکز  $P$  حساب شده و یک مرتبه تحت اثر لنگر اعمال شده محاسبه می‌گردد. شرط صفر شدن جابجایی انتهای تیر، آن است که جابجایی رو به پایین تحت اثر نیروی  $P$  وارد شده با جابجایی رو به بالای حاصل از لنگر  $M_o$  با یکدیگر برابر شود. بدین ترتیب از موارد ۸ و ۹ جدول ۱-۱ استفاده می‌گردد.



$$\begin{cases} \delta_1 = \frac{Pl^3}{3EI} \\ \delta_2 = \frac{M_o l^2}{2EI} \end{cases} \quad \delta_1 = \delta_2 \rightarrow \frac{Pl^3}{3EI} = \frac{M_o l^2}{2EI} \Rightarrow M_o = \frac{2Pl}{3}$$

گزینه ۴ صحیح است.

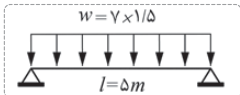
**تمرین ۷-۱:** برای پوشش یکی از چشمه‌های یک ساختمان فولادی از تیرهای فرعی به فاصله ۱٫۵ متر از یکدیگر استفاده شده است. چنانچه مجموع بار مرده و زنده ضریب‌دار این کف  $7kN/m^2$  باشد، مقاومت خمشی مورد نیاز تیرهای فرعی برحسب کیلو نیوتن متر چقدر است؟ (برگرفته از آزمون نظارت- بهمن ۹۴)



- ۲۲ (۱)  
۳۳ (۲)  
۴۳ (۳)  
۶۵ (۴)

**حل مساله:** طبق مطالب ارائه شده در درسنامه، مقدار مقاومت خمشی مورد نیاز مقطع ناشی از بارگذاری و تحلیل سازه‌ها به دست می‌آید.

همچنین می‌دانیم که سطح بارگیر تیر فرعی میانی، برابر با ۱٫۵ متر می‌باشد. لذا طبق نکته ۱ ارائه شده در درسنامه، با تبدیل بار گسترده سطحی یکنواخت به بار گسترده خطی یکنواخت، حداکثر لنگر خمشی مقطع محاسبه می‌گردد.



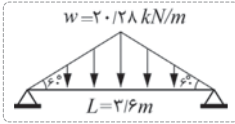
$$M_{max} = \frac{w l^2}{8} = \frac{1,5 \times 7 \times 8^2}{8} = 32,71 kN \cdot m$$

گزینه ۲ صحیح است.

**تمرین ۸-۱:** طول آزاد یک تیر نعل درگاه فولادی  $3/6$  متر و حداکثر شدت بار واحد طول تیر تحت بارهای ضریب دار برابر با  $20/28$  کیلو نیوتن بر متر می‌باشد. لنگر خمشی حداکثر وارد بر این تیر چند کیلو نیوتن-متر می‌باشد؟ «بار نعل درگاه به صورت مثلثی و با زاویه  $60^\circ$  درجه اعمال می‌شود» - (برگرفته از آزمون محاسبات- اسفند ۹۵)

- ۱۹٫۷ (۱)      ۲۴٫۳ (۳)      ۳۲٫۹ (۴)      ۲۱٫۹ (۲)

**حل مساله:** در این سؤال، بخشی از راه حل سؤال مطرح شده در آزمون محاسبات عمران، مورخ اسفند ماه ۱۳۹۵، مورد پرسش قرار گرفته است. صورت اصلی مسأله و راه حل کامل آن در فصل ۷ ارائه شده است. برای حل سریع این سؤال، از مورد ۵ جدول ۱-۱ استفاده می‌شود.

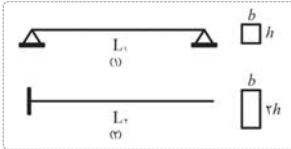


$$M_{max} = \frac{w L^2}{12} = \frac{2.28 \times 3.6^2}{12} = 21.9 \text{ kN.m}$$

گزینه ۱ صحیح است.

**تمرین ۹-۱:** مقطع دو تیر نشان داده شده، به شکل مربع مستطیل است. ارتفاع مقطع تیر (۲)،  $h_2$  دو برابر ارتفاع مقطع تیر (۱)،  $h_1$  می‌باشد. تنش خمشی ماکزیمم آن‌ها زیر اثر وزن خود یکی می‌باشد. نسبت  $\frac{L_1}{L_2}$  چقدر است؟

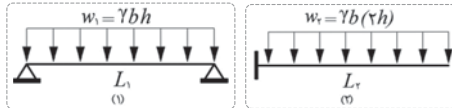
(کارشناس رسمی دادگستری قوه قضاییه - ۸۷ - با کمی تغییر)



$$\begin{aligned} & 2 \quad (2) & & 1 \quad (1) \\ & \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (4) & & \sqrt{2} \quad (3) \end{aligned}$$

**حل مسأله:** با فرض آنکه وزن مخصوص مصالح یکسان و برابر با  $\gamma$  می‌باشد، مقدار بار خطی وارد شده به هر

یک از تیرها مطابق با شکل زیر خواهد شد:



$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{M_{max}}{S_x} = \frac{w_1 L_1^2}{\frac{1}{6} b h^3} = \frac{3 \gamma b^2 h^2 L_1^2}{4 b^2 h^3} = \frac{3 \gamma L_1^2}{4 h} \\ \sigma_2 &= \frac{M_{max}}{S_x} = \frac{w_2 L_2^2}{\frac{1}{6} b (2h)^3} = \frac{3 \gamma b^2 (2h)^2 L_2^2}{4 b^2 h^3} = \frac{3 \gamma L_2^2 \times 2}{4 h} \end{aligned} \right. \quad \sigma_1 = \sigma_2 \rightarrow \frac{3 \gamma L_1^2}{4 h} = \frac{3 \gamma L_2^2 \times 2}{4 h} \Rightarrow \frac{L_1}{L_2} = \sqrt{2}$$

گزینه ۳ صحیح است.