جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

راهنمای

آیین‌نامه بتن ایران «آبا»

نشریه شماره ۱۲۶

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

۱۳۸۱

انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ۸۱/۰۰/۵۰

فهرستبرگه

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها
راهنمای آیین‌نامه بتن ایران (آبا)/ معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها.- تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور پشتیبانی، مرکز مدارک علمی و انتشارات، ۱۳۸۱.
۴۳۴ص مصور.- (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛ نشریه شماره۱۲۶) (انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور؛۸۱/۰۰/۵۰)
ISBN 964-425-370-1
مربوط به بخشنامه شماره ۱۰۱/۹۳۶۴۰ مورخ ۱۳۸۱/۵/۲۶.

۱. بتن – مشخصات – دستنامه‌ها. ۲. بتن – استانداردها. الف. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. مرکز مدارک علمی و انتشارات.ب. عنوان.

۱۳۸۱ ش.۱۲۶ ۲۴س/TA ۳۶۸

شابک ۱-۳۷۰-۴۲۵-۹۶۴ ISBN 964-425-370-1

راهنمای آیین‌نامه بتن ایران (آبا)

تهیه کننده: معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها

ناشر: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. معاونت امور پشتیبانی. مرکز مدارک علمی و انتشارات

چاپ اول: ۱۵۰۰ نسخه، ۱۳۸۱

قیمت: ۴۵۰۰۰ ریال

لیتوگرافی: قاسملو

چاپ و صحافی: چاپ زحل

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

ریاست جمهوری

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

دفتر رئیس سازمان

بسمه تعالی

به : تمامی‌دستگاههای اجرایی و مهندسان مشاور	**شماره :** ۱۰۱/۹۳۶۴۰
	تاریخ : ۱۳۸۱/۵/۲۶

موضوع : راهنمای آیین‌نامه بتن ایران

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرحهای عمرانی موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت ۱۴۸۹۸ هـ ، مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت وزیران) به پیوست نشریه شماره ۱۲۶ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان با عنوان «***راهنمای آیین‌نامه بتن ایران***» از نوع گروه سوم، ابلاغ می‌گردد.

دستگاههای اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده نمایند و در صورتی که راهنمای بهتر در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از راهنمای جایگزین را برای دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان ارسال دارند.

محمد ستاری فر

معاون رئیس جمهور و رئیس سازمان

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر امور فنی و تدین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این راهنما نموده و آنرا برای استفاده جامعه مهندسی کشور در اختیار قرار داده است. این دفتر معتقد است که با وجود تلاش فراوان، این اثر بطور طبیعی مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای چاپی، دستوری، ابهام، ایهام، اشکالات انشایی و موضوعی نیست.

از این رو، این دفتر صمیمانه از شما خواننده گرامی تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال اعم از ویرایشی یا موضوعی مراتب را بصورت زیر گزارش فرمایید:

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را بدقت مطالعه نموده و اقدام لازم را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر شما همکار ارجمند قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، خیابان شیخ‌بهایی، بالاتر از ملاصدرا،کوچه لادن، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، صندوق پستی ۱۹۹۱۷

پیشگفتار

پس از انتشار اولین نسخه آیین‌نامه بتن ایران "آبا" در سال ۱۳۶۹ و استقبال بی‌نظیر مهندسان عمران در استفاده از آن، لزوم تهیه دستنامه آیین‌نامه بتن جزو دستور کار این دفتر قرار گرفت.

با توجه به آنکه "آبا" برای اولین بار مورد استفاده قرار می‌گرفت، ضرورت نگارش کتابی با مثالهای حل شده و جداول و نمودارهای لازم برای راهنمایی استفاده‌کنندگان، از آن زمان احساس می‌شد. کتاب حاضر به همین منظور تهیه شده است. در هر بخش از این کتاب سعی شده است با مثالهای متعدد و با ذکر شماره‌بندهای آیین‌نامه و توضیحات کافی، خواننده با نحوه بکارگیری روابط و ضوابط این آیین‌نامه آشنا شود. در بخش خمش و نیروی محوری نمودارهای اندرکنش ستونها همراه مثالهایی ذکر شده است.

زحمت نگارش این کتاب به عهده آقای دکتر فریدون امینی بوده و آقایان مهندس حسین فرزانگان و دکتر موسی مظلوم نیز در این ارتباط با نگارنده همکاری داشته‌اند.

از سوی دفتر امور فنی و تدوین معیارها آقای مهندس حمیدرضا خاشعی عهده‌دار انجام هماهنگی‌های لازم بوده‌اند. از تمام کارشناسانی که با اظهارنظرهای خود بر غنای مجموعه افزوده‌اند و همچنین از سرکار خانم نیکوهمت که عهده‌دار تحریر و آماده‌سازی رایانه‌ای راهنما بوده‌اند، تشکر می‌شود.

ضمن آرزوی توفیق این عزیزان از تمامی مهندسان و متخصصان انتظار دارد این معاونت را از نظریات اصلاحی خود بهره‌مند نمایند.

معاون امور فنی
تابستان ۱۳۸۱

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

۱- کلیات

۱-۱- مقدمه ۲۰

۱-۲- اصول طراحی ۲۰

۱-۳- اصول تحلیل ۲۲

۲- خمش

نمودار جریان‌ها

نمودار جریان ۱ : طراحی تیرهای بدون محدودیت ارتفاعی ۲۸

نمودار جریان ۱-۱ : کنترل خمش در تیرهای بدون محدودیت ارتفاعی ۲۹

نمودار جریان ۱-۳ : طراحی برای خمش در تیرهای بدون محدودیت ارتفاعی ۳۰

نمودار جریان ۲ : طراحی دال‌های یک طرفه ۳۱

نمودار جریان ۲-۱ : طراحی برای خمش در دال‌های یک طرفه ۳۲

نمودار جریان ۳ : طراحی تیرهای دارای محدودیت ارتفاعی ۳۳

نمودار جریان ۳-۱ : کنترل خمش در تیرهای دارای محدودیت ارتفاعی ۳۴

نمودار جریان ۳-۲ : طراحی برای خمش در تیرهای دارای محدودیت ارتفاعی ۳۵

نمودار جریان ۴ : طراحی تیرهای T شکل ۳۷

مثال‌ها

مثال ۱ : محاسبه آرماتورهای کششی لازم برای تیر مستطیل شکل تحت اثر خمش ساده و بدون آرماتور فشاری ۳۹

مثال ۲ : طرح تیر مستطیل شکل و بدون آرماتور فشاری، تحت اثر خمش ساده ۴۲

مثال ۳ : محاسبه آرماتورهای کششی لازم برای یک تیر مستطیل شکل و بدون آرماتور فشاری، که تحت تاثیر نیروی محوری کوچکی نیز قرار دارد. ۴۴

مثال ۴ : انتخاب ضخامت و آرماتورهای کششی لازم برای یک دال بدون آرماتور فشاری و تحت اثر خمش ساده ۴۷

مثال ۵ : انتخاب ضخامت دال یک طرفه برای کنترل افت و محاسبه آرماتور کششی برای خمش ساده، در دال بدون آرماتور فشاری ۵۰

مثال ۶ : تعیین آرماتورهای کششی و فشاری لازم برای یک تیر مستطیل شکل تحت اثر خمش ساده. آماتورهای فشاری جاری نمی‌شوند. ۵۲

مثال ۷ : تعیین آمارتورهای کششی لازم برای یک تیر مستطیل شکل تحت اثر خمش ساده با آرماتورهای فشاری

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

مشخص ۵۶

مثال ۸ : تعیین آرماتور کششی لازم برای تیر T شکل تحت اثر خمش ساده، در حالتی که ارتفاع بلوک تنش معادل کمتر از ضخامت بال است. ۶۰

مثال ۹ : تعیین آرماتور کششی لازم برای تیر T شکل تحت اثر خمش ساده، در حالتی که ارتفاع بلوک تنش معادل بیشتر از ضخامت بال است. ۶۲

مثال ۱۰: تعیین آرماتورهای کششی و فشاری لازم برای تیر T شکل تحت اثر خمش ساده، در حالتی که ارتفاع بلوک تنش معادل بیشتر از ضخامت بال است و فولاد فشاری جاری نمی‌شود. ۶۷

مثال ۱۱: محاسبه فولادهای فشاری و کششی لازم برای یک تیر مستطیل شکل و تحت اثر خمش ساده. آرماتورهای فشاری برای شکل‌پذیری یا کنترل افت اضافه شده‌اند. ۷۳

مثال ۱۲: محاسبه آرماتور کششی لازم برای یک تیر مستطیل شکل و بدون آرماتور فشاری، که تحت اثر خمش و نیروی محوری کششی قرار دارد. تار فوقانی فشاری می‌باشد. ۷۶

مثال ۱۳ : محاسبه آرماتور کششی لازم برای یک تیر مستطیل شکل، که تحت اثر خمش و نیروی محوری کششی قرار دارد. تار فوقانی کششی می‌باشد. ۷۹

جداول کمکی

خمش ۱ : نسبت آرماتور و ضریب a_n برای طرح تقریبی و سریع تیرهای مستطیل شکل و بدون آرماتور فشاری ۸۰

خمش ۲ : ضرایب لازم برای طرح تیرهای مستطیل شکل و بدون آرماتور فشاری ۸۱

خمش ۳ : ضرایب لازم برای طرح تیرهای مستطیل شکل و دارای آرماتور فشاری در حالتی که $f'_s=f_y$ ۹۷

خمش ۴ : ضریب a''_n برای تیرهای مستطیل شکل و دارای آرماتور فشاری در حالتیکه $f'_s<f_y$ ۱۱۳

خمش ۵ : تعیین لنگر مقاوم خمشی M_u برای عرض یک متر ۱۱۵

۳- خمش و بار محوری

مثالها

مثال ۱ : طراحی ستون مستطیل شکل تحت اثر بار محوری ۱۳۰

مثال ۲ : طراحی ستون مستطیل شکل تحت اثر بار محوری و لنگر خمشی (ستون بدون فولاد میانی) ۱۳۱

مثال ۳ : طراحی ستون مستطیل شکل تحت اثر بار محوری و لنگر خمشی ۱۳۲

مثال ۴ : طراحی ستون دایره‌ای شکل تحت اثر بار محوری و لنگر خمشی ۱۳۳

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

مثال ۵ : طراحی ستون دایره‌ای شکل تحت اثر بار محوری و خمش دومحوره ۱۳۴

نمودارهای اندرکنش لنگر خمشی و بار محوری

نمودارهای اندر کنش خمش و بار محوری ستون مستطیل شکل بدون فولاد میانی ۱۳۶

نمودارهای اندر کنش خمش و بار محوری ستون مستطیل شکل با فولاد میانی ۱۴۱

نمودارهای اندر کنش خمش و بار محوری ستونهای دایره‌ای ۱۴۶

۴- برش و پیچش

نمودار جریان‌ها

نمودار جریان ۱-۲ : کنترل برش برای طراحی تیر بدون محدودیت ارتفاعی ۱۵۲

نمودار جریان ۱-۵ : طراحی برای برش در تیر بدون محدودیت ارتفاعی ۱۵۳

مثال‌ها

مثال ۱ : طراحی تیر برای برش با استفاده از روابط بند ۱۲-۳-۱، از آئین‌نامه بتن ایران ۱۵۵

مثال ۲ : تعیین مقاومت برشی بتن در تیر با استفاده از روابط بند ۱۲-۳-۲، از آئین‌نامه بتن ایران ۱۵۸

مثال ۳ : طراحی خاموت‌های قائم برای تیری که دیاگرام برش آن بصورت مثلثی است. ۱۶۰

مثال ۴ : طراحی خاموت‌های قائم برای تیری که دیاگرام برش آن بصورت ذوزنقه و مثلث است. ۱۶۴

مثال ۵ : طراحی خاموت‌های مایل برای تیری که دیاگرام برش آن بصورت مثلثی است ۱۶۷

مثال ۶ : انتخاب شماره میلگرد خاموت‌ها و فاصله بین آنها، در حالتی که حداقل آرماتور برشی مورد نیاز است ۱۷۲

مثال ۷ : تعیین ضخامت لازم دال (یا شالوده) برای ایجاد مقاومت برشی محیطی مورد نیاز ۱۷۵

مثال ۸ : طراحی آرماتورهای برش اصطکاکی برای اتصال بین مصالح مختلف ۱۷۷

مثال ۹ : طراحی تیر T شکل برای پیچش و برش ناشی از خمش ۱۷۹

مثال ۱۰ : استفاده از دو حلقه خاموت در طراحی تیر T شکل برای پیچش و برش ناشی از خمش ۱۸۳

مثال ۱۱ : طراحی دستک در حالتی که نیروی کششی افقی برابر صفر است. برای جلوگیری از ایجاد نیروی کششی افقی تمهیدات خاصی در نظر گرفته شده است ۱۸۷

مثال ۱۲ : طراحی دستک در حالتیکه نیروی کششی افقی N_u وجود داشته باشد ۱۹۰

مثال ۱۳ : طراحی دستک در حالتی که نیروی کششی افقی برابر صفر است ($N_u=0$) ولی هیچگونه تمهیداتی برای جلوگیری از ایجاد آن در نظر گرفته نشده است. ۱۹۳

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

جداول کمکی

برش ۱-۱ : حداکثر عرض تیر b_w، در صورت استفاده از خاموت‌های U شکل به فواصل $\frac{d}{2}$ ۱۹۶

برش ۱-۲ : حداکثر فاصله مجاز بین خاموت‌ها برای تیر که پهنای آن بیشتر از اعداد پیشنهادی جدول برش ۱-۱ می‌باشد ۱۹۷

برش ۲-۱ : تعیین مقاومت برشی V_s برای خاموت‌های U شکل، $f_y = 300$ MPa ۱۹۸

برش ۲-۲ : تعیین مقاومت برشی V_s برای خاموت‌های U شکل، $f_y = 400$ MPa ۲۰۰

برش ۳ : ضرایب لازم برای طراحی خاموت‌های مایل ۲۰۲

برش ۴ : تعیین درصد آرماتور عمود بر صفحه برش، در برش اصطکاکی ۲۰۳

۵- تغییر شکل‌ها

مثال‌ها

مثال افت ۱ : ممان اینرسی موثر برای یک مقطع مستطیل شکل با آرماتور کششی ۲۰۶

مثال افت ۲ : افت یک تیر مستطیل شکل با دهانه ساده و دارای آرماتور کششی ۲۰۹

مثال افت ۳ : ممان اینرسی مقطع ترک خورده T شکل با آرماتور کششی ۲۱۲

مثال افت ۴ : ممان اینرسی یک مقطع ترک خورده و دارای آرماتور کششی و فشاری ۲۱۴

مثال افت ۵ : افت ناشی از بار زنده و افت دراز مدت در یک تیر پیوسته ۲۱۶

جداول کمکی

افت ۱ : لنگر خمشی ترک خوردگی M_{cr} برای مقاطع مستطیل شکل ۲۲۶

افت ۲ : ممان اینرسی مقطع ترک خورده I_{cr}، برای مقاطع مستطیل شکل و دارای آرماتور کششی ۲۲۸

افت ۳-۱ : ممان اینرسی مقطع ترک خورده I_{cr} ، برای مقاطع مستطیل شکل و دارای آرماتور کششی و فشاری، یا مقاطع T شکل در حالت $0.1 \le \beta_c \le 0.9$ ۲۳۰

افت ۳-۲ : ممان اینرسی مقطع ترک خورده I_{cr} ، برای مقاطع مستطیل شکل و دارای آرماتور کششی و فشاری، یا مقاطع T شکل در حالت $1 \le \beta_c \le 5$ ۲۳۳

افت ۴ : ممان اینرسی موثر I_e ۲۳۶

افت ۵-۱ : مقادیر M_c و K_{a3} برای محاسبه سریع افت در اعضا خمشی ۲۳۹

افت ۵-۲ : ضریب K_{a1} برای محاسبه سریع افت در اعضا خمشی ۲۴۰

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

۶- دالهای دوطرفه

مثال‌ها

مثال ۱ : طرح دال دو طرفه و بدون تیر به روش مستقیم ۲۴۴

مثال ۲ : طرح دال دو طرفه و دارای تیر به روش مستقیم ۲۷۰

مثال ۳ : طرح دال دو طرفه و بدون تیر به روش قاب معادل ۲۸۴

مثال ۴ : طرح دال دو طرفه و دارای تیر به روش ضرایب لنگر خمشی ۲۹۶

جداول کمکی

دال ۱ : ضریب α_f برای محاسبه α ۳۰۵

دال ۲ : ضریب ثابت C برای محاسبه سختی پیچشی K_t ۳۰۶

دال ۳-۱ : ضریب سختی k_c برای ستونهای دارای سرستون با پخ ۴۵ درجه ۳۰۸

دال ۳-۲ : ضریب سختی k_c برای ستونهای بدون سرستون پخ‌دار ۳۰۸

دال ۳-۳ : ضریب سختی k_c برای ستونهای دارای سرستون با پخ ۴۵ درجه ۳۱۰

دال ۴-۱ : ضرایب پخش لنگر برای اعضای تیر- دال و بدون کتیبه به منظور استفاده در روش قاب معادل ۳۱۲

دال ۴-۲ : ضرایب پخش لنگر برای اعضای تیر- دال و دارای کتیبه به منظور استفاده در روش قاب معادل ۳۱۵

۷- دیوارهای حائل

مثال : طرح دیوار حائل بتنی در برابر فشارهای وارده از طرف خاک ۳۲۰

۸- شالوده‌ها

مثال‌ها

مثال ۱ : ضخامت شالوده منفرد و مربع شکل که دارای ستون با مقطع مربع باشد. ۳۲۸

مثال ۲ : ضخامت شالوده منفرد و مستطیل شکل که دارای ستون با مقطع مستطیل باشد. ۳۳۱

مثال ۳ : ضخامت و آرماتورگذاری شالوده یک طرفه ۳۳۶

مثال ۴ : ضخامت و آرماتورگذاری شالوده مربع شکل و دو طرفه ۳۳۹

مثال ۵ : ضخامت و آرماتورگذاری شالوده مستطیل شکل و دو طرفه ۳۴۳

مثال ۶ : ضخامت و آرماتورگذاری شالوده که به صورت متقارن بر روی شمع‌ها قرار گرفته است. ۳۴۸

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

مثال ۷ : ضخامت و آرماتورگذاری شالوده قرا رگرفته بر روی شمع‌های متقارن ۳۵۱

جداول کمکی

شالوده ۱ : ضریب K_{v1} برای محاسبه عمق موثر مورد نیاز d در برش‌های عادی یا یک طرفه ۳۵۴

شالوده ۲ : عمق موثر مورد نیاز d برای برش سوراخ‌کننده ۳۵۵

۹- آرماتورگذاری

نمودار جریان‌ها

نمودار جریان ۱-۴ : انتخاب میلگردها و کنترل ترک در تیرهای بدون محدودیت ارتفاعی ۳۶۲

مثال‌ها

مثال ۱ : انتخاب میلگردها برای تیر مستطیل شکل وتحت اثر خمش ساده، با توجه به ضوابط مربوط به فواصل میلگردها و پوشش آرماتورها و عرض ترک‌خوردگی ۳۶۳

مثال ۲ : کنترل ضوابط مربوط به فواصل میلگردها و پوشش آرماتورها و عرض ترک‌خوردگی، در یک دال یک طرفه ۳۶۶

مثال ۳ : آرماتورگذاری در دو لایه، برای تیر مستطیل شکل ، تحت اثر خمش ساده، با توجه به ضوابط مربوط به فواصل میلگردها و پوشش آرماتورها و عرض ترک‌خوردگی ۳۶۸

مثال ۴ : تعیین حداکثر عرض برای تیر دارای گروه میلگردهای در تماس، با توجه به ضوابط عرض ترک‌خوردگی ۳۷۱

مثال ۵ : طول مهاری میلگرد مستقیم و قلاب‌دار در کشش ۳۷۳

مثال ۶ : حداکثر قطر میلگرد برای آرماتور خمشی مثبت، در یک تیر دو سر مفصل و تحت اثر بارگسترده یکنواخت ۳۷۵

مثال ۷ : حداکثر قطر میلگرد برای آرماتور خمشی مثبت، در یکی ازدهانه‌های میانی مربوط به تیر یکسره و تحت اثر بار گسترده یکنواخت ۳۷۸

مثال ۸ : حداکثر قطر میلگرد برای آرماتور خمشی مثبت، در یک تیر مربوط به یک قاب خمشی،و تحت اثر بار گسترده یکنواخت ۳۸۱

جداول کمکی

آرماتورگذاری ۱ : سطح مقطع و وزن واحد طول میلگردها ۳۸۴

آرماتورگذاری ۲ : سطح مقطع میلگردها با در نظر گرفتن تعداد آنها ۳۸۵

آرماتورگذاری ۳ : حداکثر مقدار A برای یک میلگرد به منظور کنترل ترک در تیرها و دالها ۳۸۶

آرماتورگذاری ۴ : نسبت حداکثر عرض تیر به تعداد میلگردهای کششی تیرها و دالها که به صورت تکی به کار رفته‌اند ۳۸۷

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

آرماتورگذاری ۵ : نسبت حداکثر عرض تیر به تعداد گروه میلگردها، در حالتی که میلگردهای با قطر مساوی در یک لایه قرار گرفته‌اند ۳۸۹

آرماتورگذاری ۶ : سطح مقطع میلگردهای موجود در یک متر عرض ۳۹۰

آرماتورگذاری ۷ : طول گیرائی میلگردهای آجدار با قطرهای مختلف در حالت $k_1=k_2=k_3=1$ ۳۹۱

۱۰- ضوابط ویژه برای طراحی در برابر زلزله

مثال ۱ : طرح تیرهای سازه با توجه به ضوابط شکل‌پذیری زیاد ۳۹۸

مثال ۲ : طرح ستونهای سازه با توجه به ضوابط شکل‌پذیری زیاد ۴۱۰

مثال ۳ : طرح اتصالات تیر به ستون کناری سازه با توجه به ضوابط شکل‌پذیری زیاد ۴۱۸

مثال ۴ : طرح اتصالات تیر به ستون میانی سازه با توجه به ضوابط شکل‌پذیری زیاد ۴۲۱

مثال ۵ : طرح دیوارهای برشی سازه با توجه به ضوابط شکل‌پذیری زیاد ۴۲۴

کلیات

۱-۱- مقدمه

در این فصل به اختصار مبانی طرح و تحلیل بکار رفته در آیین‌ناهم بتن ایران تشریح خواهد شد. منظور از طراحی یک سازه تعیین پیکربندی،ابعاد و مشخصات قطعات آن به نحوی است که هدف‌های ایمنی، عملکرد مطلوب و پایایی سازه تامین شوند. ایمنی سازه وقتی حاصل می‌شود که:

- تحت اثر بارها و سربارهای متعارف آسیب نبیند.
- در اثر بارها و سربارهای استثنایی گسیخته نشود و فرو نریزد.

منظور از عملکرد مطلوب این است که سازه برای بهره‌برداری پیش‌بینی شده ساختمان مزاحمت فراهم نکند و:

- تحت اثر بارها و سربارهای متعارف در آن ترک‌خوردگی و تغییر شکل بیش از حد بوجود نیاید بطوری که اجزای غیر سازه‌ای، نظیر نازک‌کاری و تیغه‌ها،دچار آسیب شوند.
- در اثر لرزش در بهره‌برداری کنندگان احساس ناامنی بوجود نیاید.

هدف از پایایی این است که مصالح سازه کیفیت خود را در تمام طول عمر پیش‌بینی شده حفظ کند، بطوری که در اثر پیری و فرسودگی ایمنی و قابلیت بهره‌برداری سازه بیش از حد تقلیل نیابد.

منظور از تحلیل سازه تعیین تلاش‌های موجود در مقاطع مختلف سازه، تحت اثر عامل‌های وارده، با در نظر گرفتن مشخصات هندسی و مکانیکی آن است. د رتعیین تلاش‌ها باید نامساعدترین حالات را به لحاظ عملکرد توام ترکیبات محتمل عامل‌ها در نظر گرفته شوند.

۱-۲- اصول طراحی

روش طراحی در آیین‌نامه بتن ایران بر اساس «طراحی در حالات حدی» است. در این روش سازه باید طوری طرح شود که با ایمنی مشخصی،تحت هیچ یک از شرایط نامساعد بارگذاری به هیچ یک از حالتهای ویژه که اصطلاحا" «حالت‌های حدی» نامیده می‌شوند، برسد.

حالتهای حدی عمدتا" شامل حالت حدی نهایی مقاومت و حالت حدی بهره‌برداری می‌شود. در حالت حدی مقاومت، سازه یا قطعه‌ای از آن ممکن است به علت رسیدن به حداکثر ظرفیت خود گسیخته شود. در حالت حدی بهره‌برداری مواردی نظیر تغییر شکل‌های بیش از حد، لطمات موضعی نظیر ترک‌خوردگی و لرزش بیش از اندازه مطرح می‌باشد.

علاوه بر موارد فوق حالات حدی نظیر:از دست رفتن تعادل سازه و یا قسمتی از آن به عنوان یک جسم صلب و یا تغییر شکل سازه یا قسمتی از آن در حدی که شکل هندسی و در نتیجه رفتار سازه را به کلی تغییر دهد، نیز باید بررسی شود. همچنین باید پایایی سازه در تمام طول عمر مفید پیش‌بینی شده حفظ شود، بطوری که در اثر پیری و فرسودگی ایمنی و قابلیت بهره‌برداری سازه بیش از حد تقلیل نیابد.

۱-۲-۱- حالت حدی نهایی مقاومت

در این حالت حدی، طراحی اعضای مختلف سازه چنان صورت می‌گیرد که مقاومت نهایی آنها در هر مقطع بزرگتر یا مساوی با تلاش‌های موجود در آن مقطع تحت اثر بارهای نهایی وارد به سازه باشد. برای این کار مقادیر مشخصه بارها در ضرایبی به نام «ضرایب جزیی ایمنی عامل‌ها» که با γ_f نشان داده می‌شود، ضرب می‌شوند. این ضرایب بیان‌کننده عدم یقین‌ها در برآورد صحیح مقادیر بارهای خارجی می‌باشند.

علاوه بر آن مقادیر مشخصه مقاومت‌های بتن و فولاد باید در ضرایبی به نام «ضرایب جزیـی ایمنـی مقاومـت‌هـا» کـه بـا ϕ_m نمـایش داده می‌شوند، ضرب شوند. این ضرایب منعکس کننده عدم اطمینان موجود در کیفیت مصالح، نحوه اجرا، درستی ابعاد و اندازه قطعات‌اند. مقادیر γ_f بصورت ترکیب عامل‌ها و ϕ_m در جدول (۱-۱) و (۱-۲) نشان داده شده‌اند.

جدول (۱-۱) ترکیب عامل‌ها

انواع ترکیب عامل‌ها (حاصلضرب γ_f در انواع عامل‌ها
1.25 D + 1.5 L*
D + 1.2 L* + 1.2 E (یا 1.2 W)
0.85 D + 1.2 E (یا 1.2 W)
1.25 D + 1.5 L* + 1.5 H (یا 1.25 F)
0.85 D + 1.5 H (یا 1.25 F)
D + 1.2 L + T
1.25 D + 1.25 T

* در مواردی که اثر بارهای زنده نامساعد و کاهش دهنده‌اند این اثر برابر با صفر منظور می‌شود.

در این جدول :

- بار مرده D =
- بار زنده L =
- بار زلزله E =
- بار باد W =
- فشار خاک یا فشار ناشی از آبهای تحت‌الارضی H =
- اثرتجمعی حرارت، جمع‌شدگی و وارفتگی بتن و نشست تکیه‌گاه‌ها T =
- فشار و وزن مایعات F =

جدول (۱-۲) مقادیر ضرایب جزیی ایمنی مقاومت‌ها

نام	ϕ_m
ضریب جزیی ایمنی مقاومت بتن	$\phi_m = 0.6$
ضریب جزیی ایمنی مقاومت فولاد	$\phi_s = 0.85$

علاوه بر ضرایب γ_f و ϕ_m ، در آیین‌نامه ضریبی تحت عنوان «ضریب جزیی ایمنی اصلاحی» معرفی شده است که در مواردی که اهمیت قطعه و پیامدهای گسیختگی آن، از جمله شاخص بودن نوع گسیختگی مانند نرم یا ترد بودن آن، مورد نظر باشد، بکار گرفته می‌شود. این

ضریب بنا به مورد یا در مقاومت قطعه ضرب می‌شود و آن را کاهش می‌دهد (ϕ_n) یا در عامل‌ها ضرب می شود و آنها را افزایش می‌دهد (γ_n).

ضرایب اصلاحی ϕ_n و γ_n در طراحی کلیه قطعات مساوی با یک است مگر آنکه برای آن مقداری مشخص شده باشد، مانند مقدار γ_n = 0.65 در بند (۱۳-۸-۴) آیین‌نامه.

۱-۲-۲- حالات حدی بهره‌برداری

این حالات شامل دو حالت تغییر شکل و ترک‌خوردگی است . در این حالات حدی، کنترل می‌شود که تغییر شکل‌ها و ترک‌خوردگی‌های ایجاد شده در هر عضو تحت اثر بارهای بهره‌برداری وارد به سازه کوچکتر از مقادیر مشخصی باشند که در طرح مورد نظر بوده‌اند. در این حالت مقادیر ضرایب جزیی ایمنی بارها، γ_f و ضرایب جزیی ایمنی مقاومت، ϕ_s و ϕ_c ، برابر واحد در نظر گرفته می‌شوند.

۱-۳- اصول تحلیل

در آیین‌نامه روش‌های زیر برای تحلیل سازه‌ها مجاز شمرده شده است:

۱-۳-۱- تحلیل خطی

در این روش تحلیل کلیه تلاش‌ها در مقاطع مختلف سازه با فرض خطی بودن رفتار مصالح کوچک بودن تغییر شکل‌های ایجاد شده و بر اساس تئوری الاستیسیته تعیین می‌شوند. این روش تحلیل را می‌توان برای انواع سازه‌ها در حالت حدی مقاومت و حالت حدی بهره‌برداری مورد استفاده قرار داد. ولی در سازه‌های متشکل از اعضای منشوری که در آنها تغییر مکان جانبی آزاد است،استفاده از این روش به شرطی مجاز است که ضریب لاغری ستون‌ها، $k\frac{\ell_u}{r}$، از صد تجاوز نکند.

در قاب‌های خمشی که در آنها محدودیت‌های خاصی رعایت شده باشند، تحلیل سازه را می‌توان با استفاده از روش‌های تقریبی انجام داد. این روش به شرح زیر خلاصه می‌شود:

در تیرهای یکسره و دال‌های یکطرفه ممتد، در صورتی که شرایط زیر موجود باشند، لنگرهای خمشی و تلاش‌های برشی را می‌توان در مقاطع مختلف با استفاده از جدول (۱-۳) تعیین نمود:

- تیر یا دال دارای حداقل دو دهانه باشد.
- اختلاف طول دو دهانه مجاور بیشتر از ۲۰ درصد طول دهانه کوچکتر نباشد.
- بارها در سراسر طول تیر یا دال تقریباً به صورت یکنواخت توزیع شده باشند.
- شدت بار زنده نهایی از سه برابر شدت بار مرده نهایی بیشتر نباشد.
- کلیه اعضا دارای مقاطع ثابت باشند.

جدول (۱-۳) مقادیر تقریبی لنگرها و برش‌ها در تیرهای یکسره و دال‌های یکطرفه

لنگر مثبت:	
دهانه‌های انتهایی	
با انتهای غیر ممتد به صورت آزاد (غیر گیردار)	$W_u \frac{\ell_n^2}{11}$
با انتهای غیر ممتد به صورت یکپارچه با تکیه‌گاه	$W_u \frac{\ell_n^2}{14}$
دهانه‌های داخلی	$W_u \frac{\ell_n^2}{16}$
لنگر منفی در وجه خارجی اولین تکیه‌گاه داخلی:	
دو دهانه	$W_u \frac{\ell_n^2}{9}$
بیشتر از دو دهانه	$W_u \frac{\ell_n^2}{10}$
لنگر منفی در وجوه دیگر تکیه‌گاه‌های داخلی:	$W_u \frac{\ell_n^2}{11}$
لنگر منفی در وجوه دیگر تکیه‌گاه‌ها برای:	
دال‌ها با دهانه‌های حداکثر ۳ متر و تیرهایی که در آنها نسبت مجموع سختی ستون‌ها	
به مجموع سختی تیرها در هر انتهای دهانه بیشتر از ۸ باشد.	$W_u \frac{\ell_n^2}{12}$
لنگر منفی در وجه داخلی کلیه تکیه‌گاه‌های خارجی برای اعضایی که با تکیه‌گاه‌های خود به صورت یکپارچه	
ساخته شده باشد:	
در حالتی که تکیه‌گاه یک تیر محیطی باشد	$W_u \frac{\ell_n^2}{24}$
در حالتی که تکیه‌گاه یک ستون باشد	$W_u \frac{\ell_n^2}{16}$
برش در اعضای انتهایی در وجه اولین تکیه‌گاه داخلی	$1.15\, W_u \frac{\ell_n}{2}$
برش در وجوه سایر تکیه‌گاه‌ها	$W_u \frac{\ell_n}{2}$

l_n : دهانه آزاد

در تحلیل قاب‌های چند طبقه در سازه‌های متعارف تحت اثر بارهای قائم، در صورتی که تغییر مکان‌های جانبی عمده نباشند، می‌توان قاب‌ها را به زیر قاب‌های کوچکتری تفکیک و هر یک را جداگانه بررسی کرد. هر یک از این زیر قاب‌ها شامل تیرهای یک طبقه و ستون‌های بالا و پایین همان طبقه است. انتهای این ستونها در محل اتصال به طبقات مجاور گیردار فرض می‌شوند. در مواردی که اتصال ستونی به طبقه مجاور مشخصاً مفصلی باشد، این اتصال مفصلی فرض می‌شود. در طرح ستون‌های هر طبقه از این قاب‌ها بارهای محوری منتقل شده از طبقات فوقانی باید منظور شوند.

در تحلیل قاب‌های چند طبقه در سازه‌های متعارف تحت اثر بارهای قائم، در صورتی که تغییر مکان‌های جانبی عمده باشند، می‌توان روش فوق را به کار گرفت مشروط بر آنکه انتهای ستونها در محل اتصال به یک طبقه مجاور گیردار و در محل اتصال به طبقه مجاور دیگر گیردار ولی با امکان حرکت جانبی در نظر گرفته شوند.

در تحلیل قاب‌های چند طبقه برای بارهای جانبی استفاده از روش‌های تقریبی مانند روش «پرتال» در صورتی مجاز است که موقعیت نقاط عطف را بتوان با تقریب قابل قبولی مشخص نمود و اثر تغییر شکل‌های محوری ستون‌ها را هم در نظر گرفت. ولی برای ساختمان‌های متعارف با حداکثر هشت طبقه می‌توان از تغییر شکل‌های ستون‌ها صرفنظر کرد.

۱-۳-۲- تحلیل خطی همراه با بازپخش محدود

در این روش تحلیل، فرض‌های منظور شده عیناً مانند روش تحلیل خطی است. علاوه بر آنها اجازه داده می‌شود تلاش‌های موجود در مقاطع مختلف با توجه به مشخصات مکانیکی آنها به مقدار محدودی کاهش یا افزایش داده شوند. آثار ناشی از تغییرات این تلاش‌ها باید در سایر مقاطع نیز در نظر گرفته شوند.

این روش را می‌توان برای سازه‌های متشکل از اعضای منشوری و اعضای صفحه‌ای به شرح زیر اعمال کرد:

در قاب‌های خمشی با شرایط زیر می‌توان بازپخش لنگرهای خمشی را به مقدار گفته شده انجام داد:

- مقادیر لنگرهای خمشی منفی محاسبه شده در تکیه‌گاه‌ها، حداکثر به اندازه مقدار زیر کاهش داده می‌شوند، مشروط بر آنکه مقادیر لنگرها در سایر مقاطع، با توجه به شرایط تعادل بارها تغییر داده شوند.

$$R = 20(1 - 0.7\frac{\rho - \rho'}{\rho_b})\%$$

که در آن:

ρ = نسبت آرماتور کششی

ρ' = نسبت آرماتور فشاری

ρ_b = نسبت آرماتور کششی در مقطع متعادل

- بازپخش لنگرها تنها در صورتی انجام می‌شود که در مقطع مورد نظر مقدار ρ یا $\rho - \rho'$ کوچکتر از $0.7\ \rho_b$ باشد.

- بازپخش لنگرها در اعضای خمشی با حرکت جانبی آزاد در صورتی که ضریب لاغری ستون، $k\frac{\ell_u}{r}$ بزرگتر از ۲۵ باشد مجاز نیست. در صورتی که ضریب لاغری ستون‌ها کوچکتر از ۲۵ باشد حداکثر بازپخش لنگرها به مقدار:

$$R = 10(1 - 0.7\frac{\rho - \rho'}{\rho_b})\%$$

محدود می‌شود.

- در صورتی که برای تعیین تلاش‌ها از روش تقریبی استفاده شده باشد، بازپخش لنگرها مجاز نیست.

- بازپخش لنگرهای ناشی از نیروهای جانبی باد یا زلزله مجاز نمی‌باشد.

در دال‌های کسره دو طرفه مقادیر لنگرهای خمشی محاسبه شده در تکیه‌گاه‌ها را، در هر نوار، می‌توان به اندازه ۲۵ درصد کاهش یـا افـزایش داد مشروط بر آنکه مقادیر لنگرهای خمشی در سایر مقاطع آن نوار با استفاده از شرایط تعـادل بارهـا تغییـر داده شـوند. بـازپخش لنگرهـا در سیستم‌های دال که لنگرهای آنها با استفاده از روش مستقیم بند (۱۵-۷) آیین‌نامه تعیین شده‌اند، مجاز نیست.

۱-۳-۳- تحلیل غیر خطی

در این روش کلیه تلاش‌ها با توجه به رفتار غیرخطی مصالح و با توجه به اثر تغییر شکل‌های زیاد در سازه کـه بـه رفتـار غیرخطـی هندسـی معروف است، تعیین می‌شوند.

تحلیل غیرخطی را می‌توان برای سازه‌های متشکل از اعضای منشوری و اعضای صفحه‌ای در حالت حدی نهایی و بهره‌برداری مورد اسـتفاده قرار داد.

در این روش برای نمودار لنگر خمشی- انحنای اعضا می‌توان از نمودار دو خطی الاستو- پلاستیک که نمایشـگر حالـت تـرک‌خـورده بـتن و حالت تشکیل مفصل پلاستیکی است، و یا از نمودار سه خطی که نمایشگر حالت ترک‌نخورده بتن، حالت ترک خـورده بـتن و حالـت تشـکیل مفصل پلاستیکی است،و یا از هر نمودار دیگری که با آزمایش تایید شده باشد، استفاده نمود.

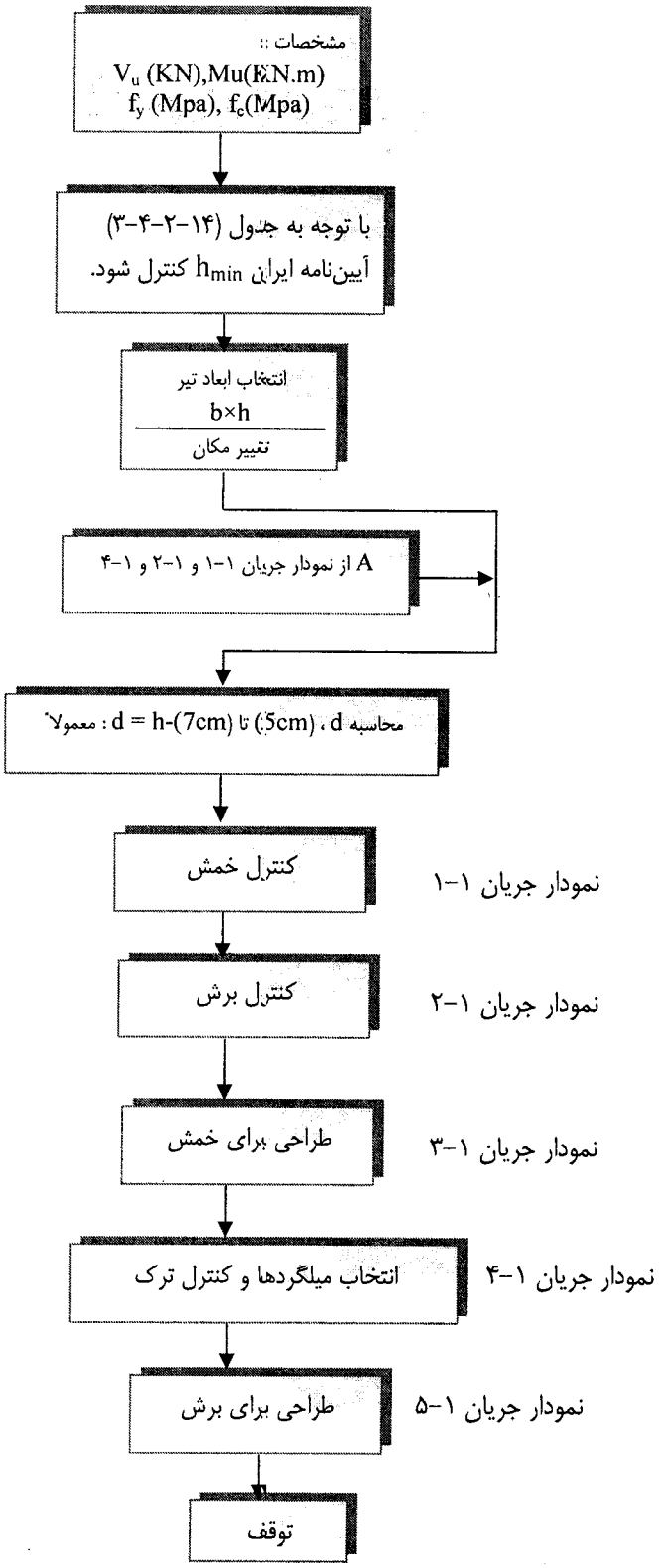
۱-۳-۴- تحلیل پلاستیک

در این روش کلیه تلاش‌ها با فرض رفتای صلب- پلاستیک قطعات و با استفاده از تئـوری پلاستیسـیته تعیـین مـی‌شـوند و بـرای اعضـای صفحه‌ای تنها در حالات حدی نهایی بکار برده می‌شود. در دال‌ها این روش می‌تواند به صورت روش استاتیکی مانند روش نوارهـا و یـا روش سینماتیکی مانند روش لولاهای گسیختگی بکار گرفته شود. در هر یک از این روش‌ها باید آرماتورگذاری در دال چنان صورت گیرد که نسبت به ظرفیت دوران لولاها اطمینان کامل حاصل شود. در روش استاتیکی باید تابع توزیع لنگرهای خمشی انتخاب شده تا حد امکان نزدیـک بـه تابع توزیع حاصل از روش تحلیل خطی باشد. در پوسته‌ها تنها استفاده از روش استاتیکی مجاز شمرده می‌شود. در این روش باید تـابع توزیـع لنگرهای خمشی انتخاب شده تا حد امکان نزدیک به تابع توزیع حاصل از روش تحلیل خطی باشد. در انتخاب این تابع باید تجارب گذشـته و یا نتایج آزمایش‌های انجام شده را ملاک عمل قرار داد.

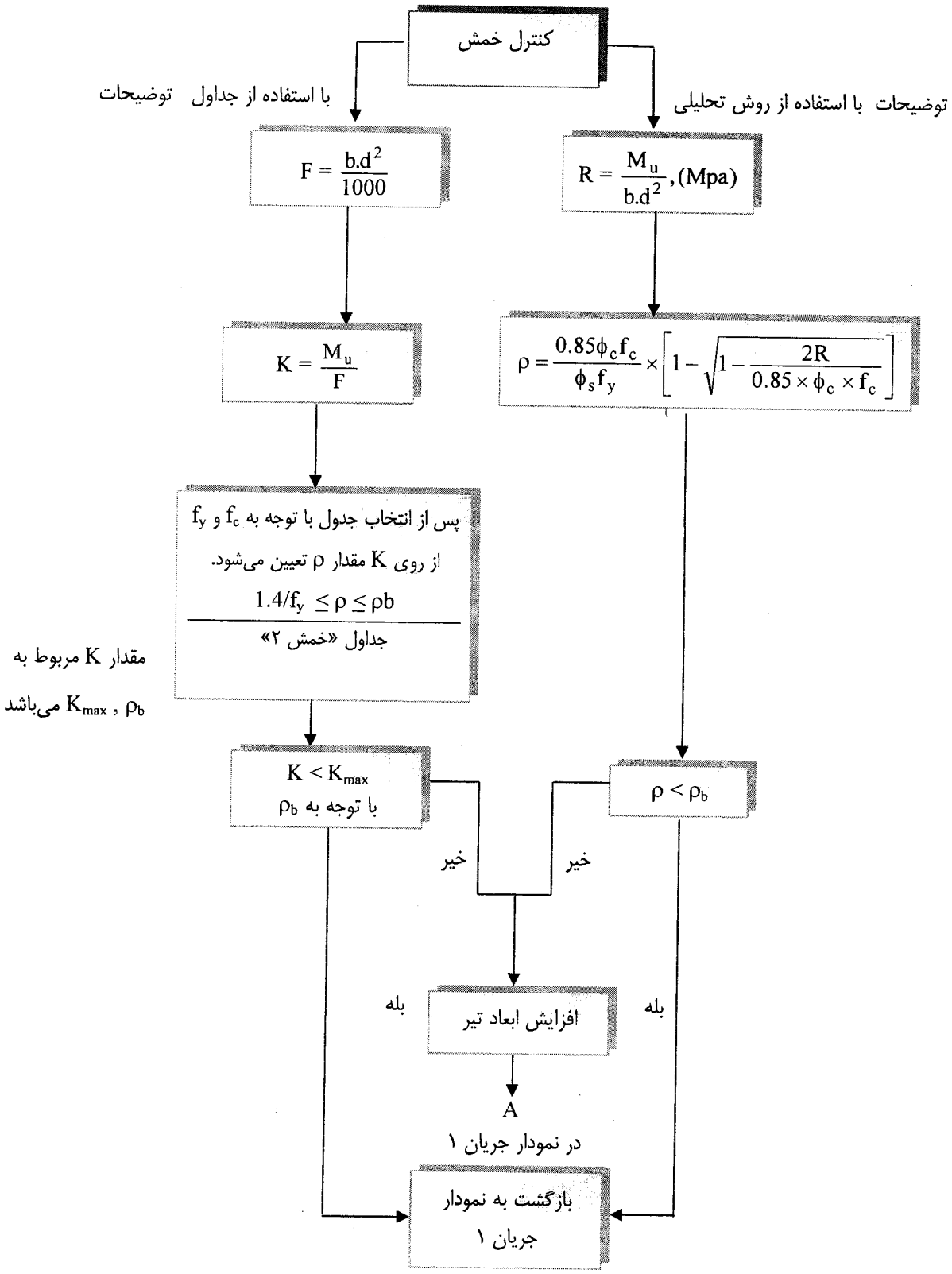
خمـــش

نمودار جریان ۱ : طراحی تیرهای بدون محدودیت ارتفاعی

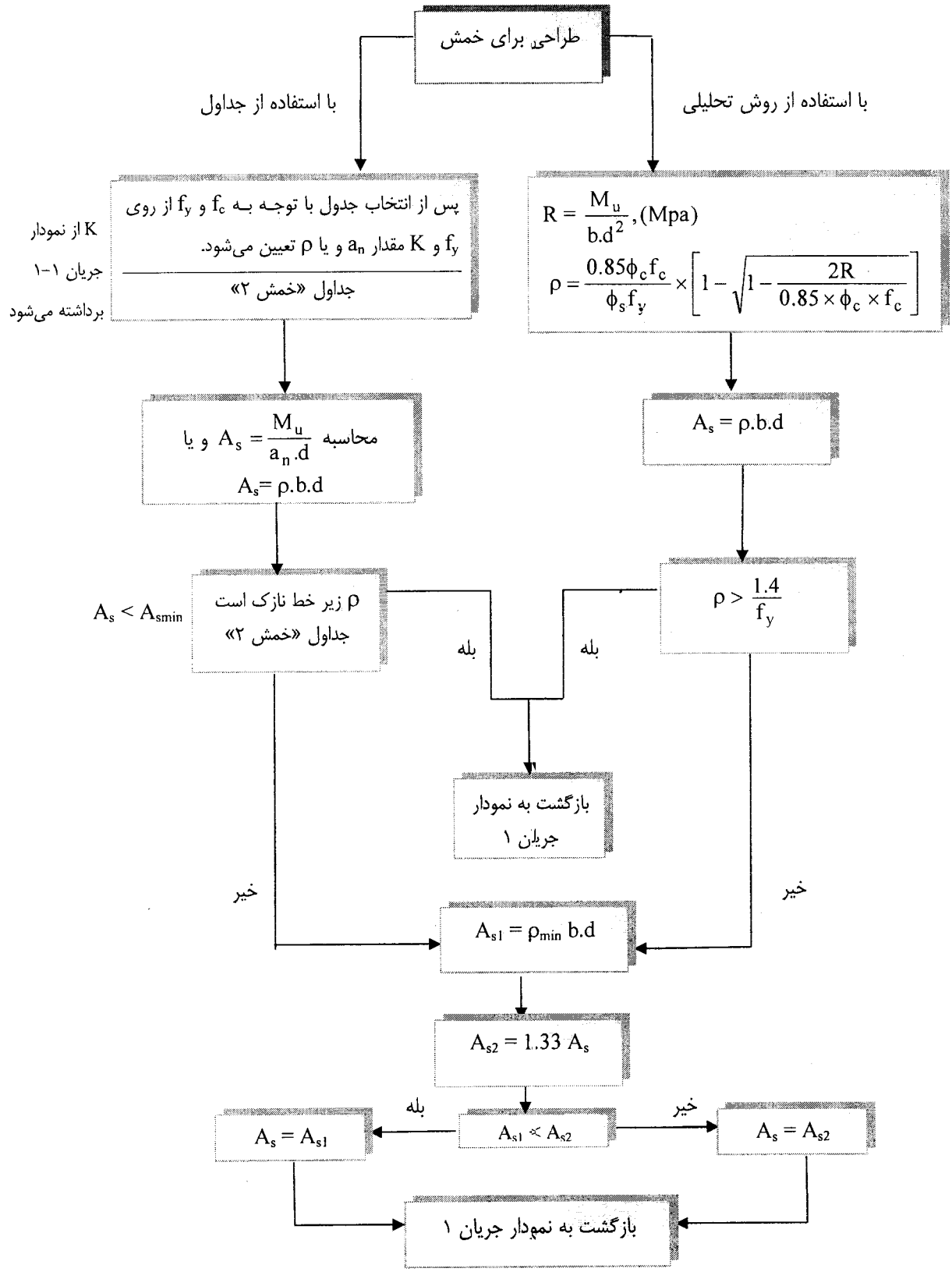
توضیحات : اگر اعضاء غیرسازه‌ای روی تیر در برابر تغییر شکل حساس باشند و یا $h<h_{min}$ باشد، کنترل تغییر مکان الزامیست. محدودیت تغییر مکان در تیرها، در جدول (۱۴-۲-۴-۱) آیین‌نامه ایران موجود است.



نمودار جریان ۱-۱: کنترل خمش در تیر بدون محدودیت ارتفاعی



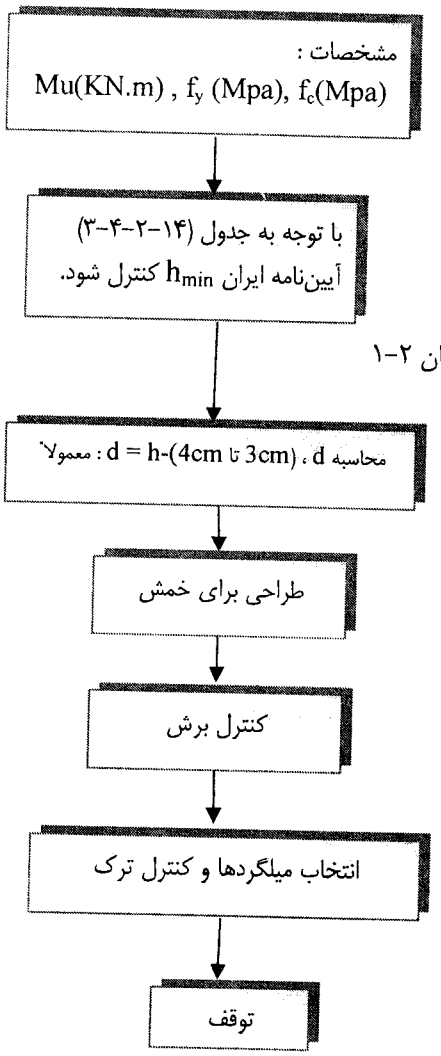
نمودار جریان ۱-۳ : طراحی برای خمش در تیرهای بدون محدودیت ارتفاعی



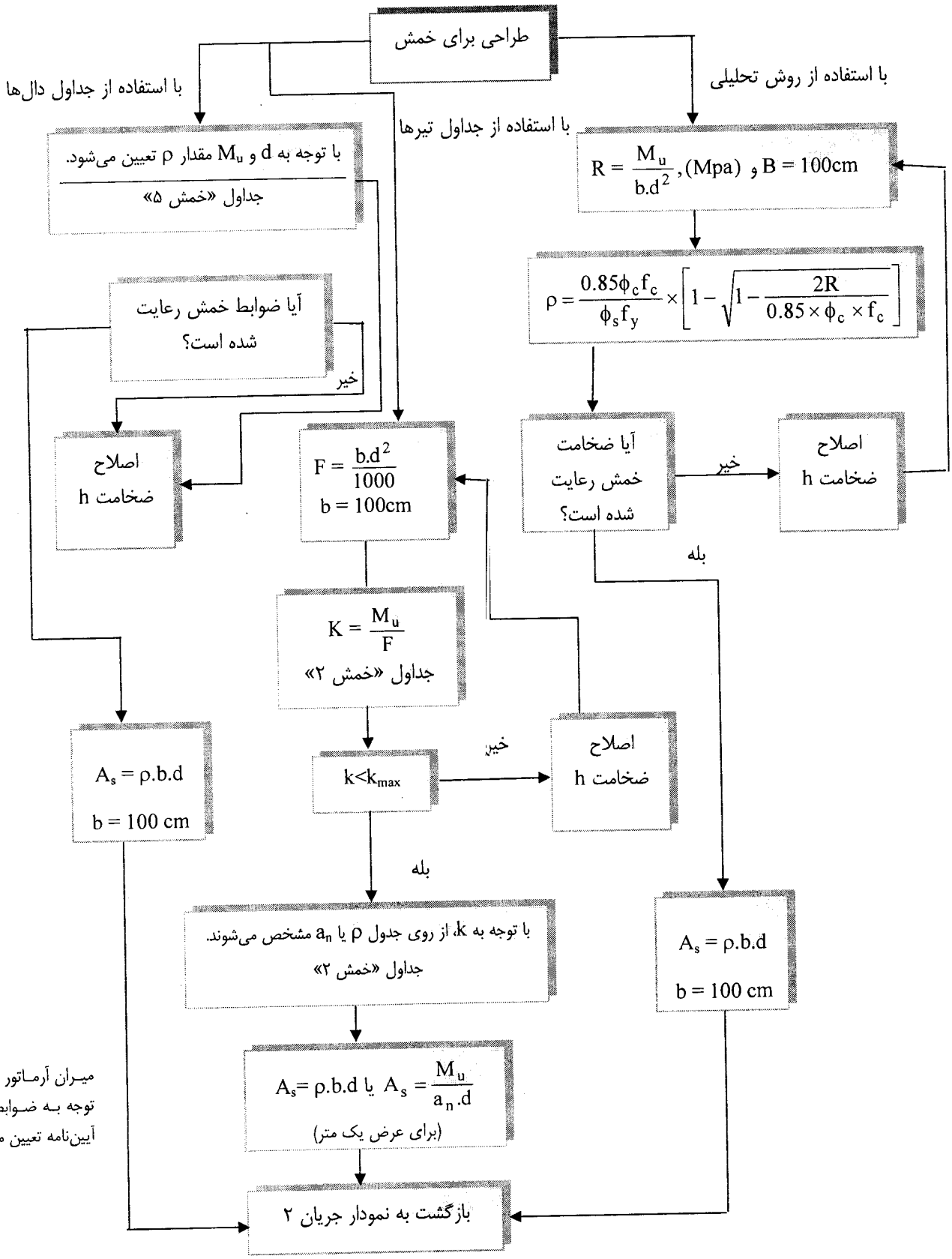
نمودار جریان ۲ : طراحی دال‌های یک طرفه

توضیحات : اگر اعضا غیر سازه روی دال در برابر تغییر شکل حساس باشند و یا $h<h_{min}$ باشد، کنترل تغییر مکان الزامیست.

محدودیت تغییر مکان در دالها، در جدول ۱۴-۲-۴-۱ آیین‌نامه بتن ایران موجود است.

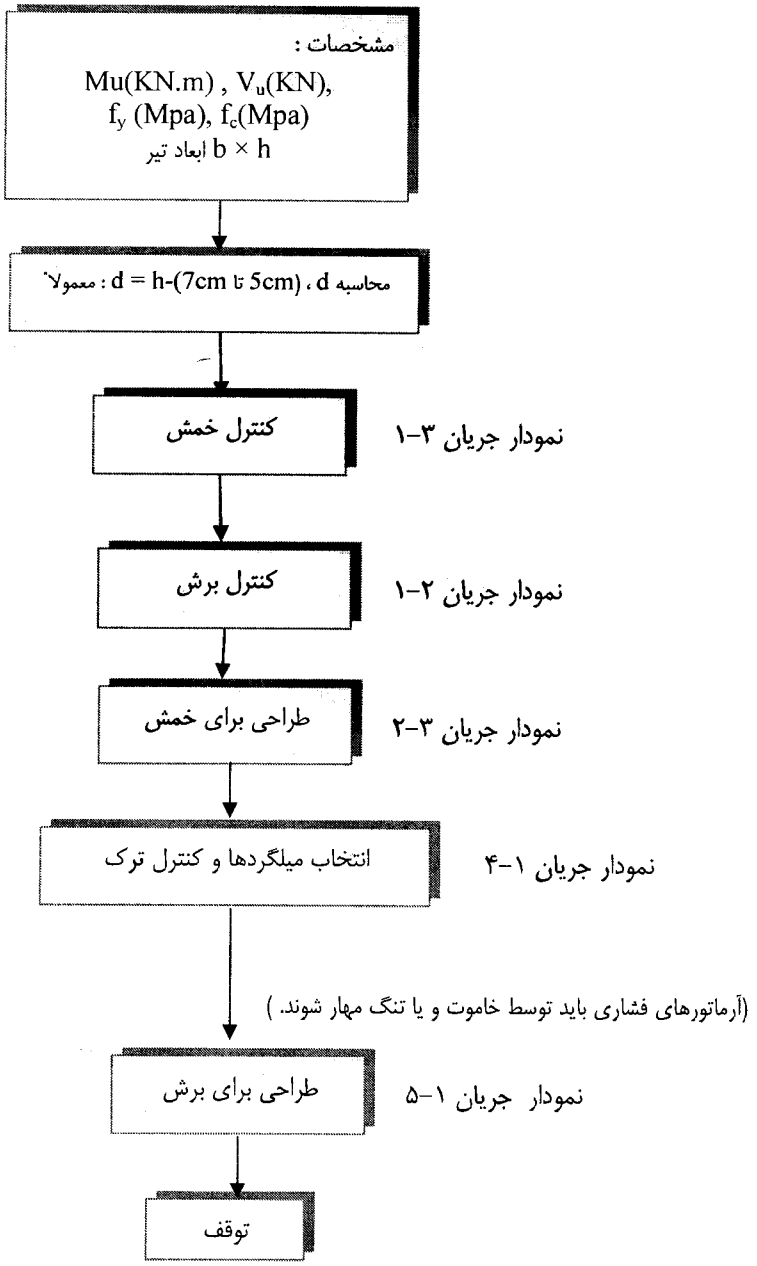


نمودار جریان ۲-۱ : طراحی برای خمش در دال‌های یک طرفه

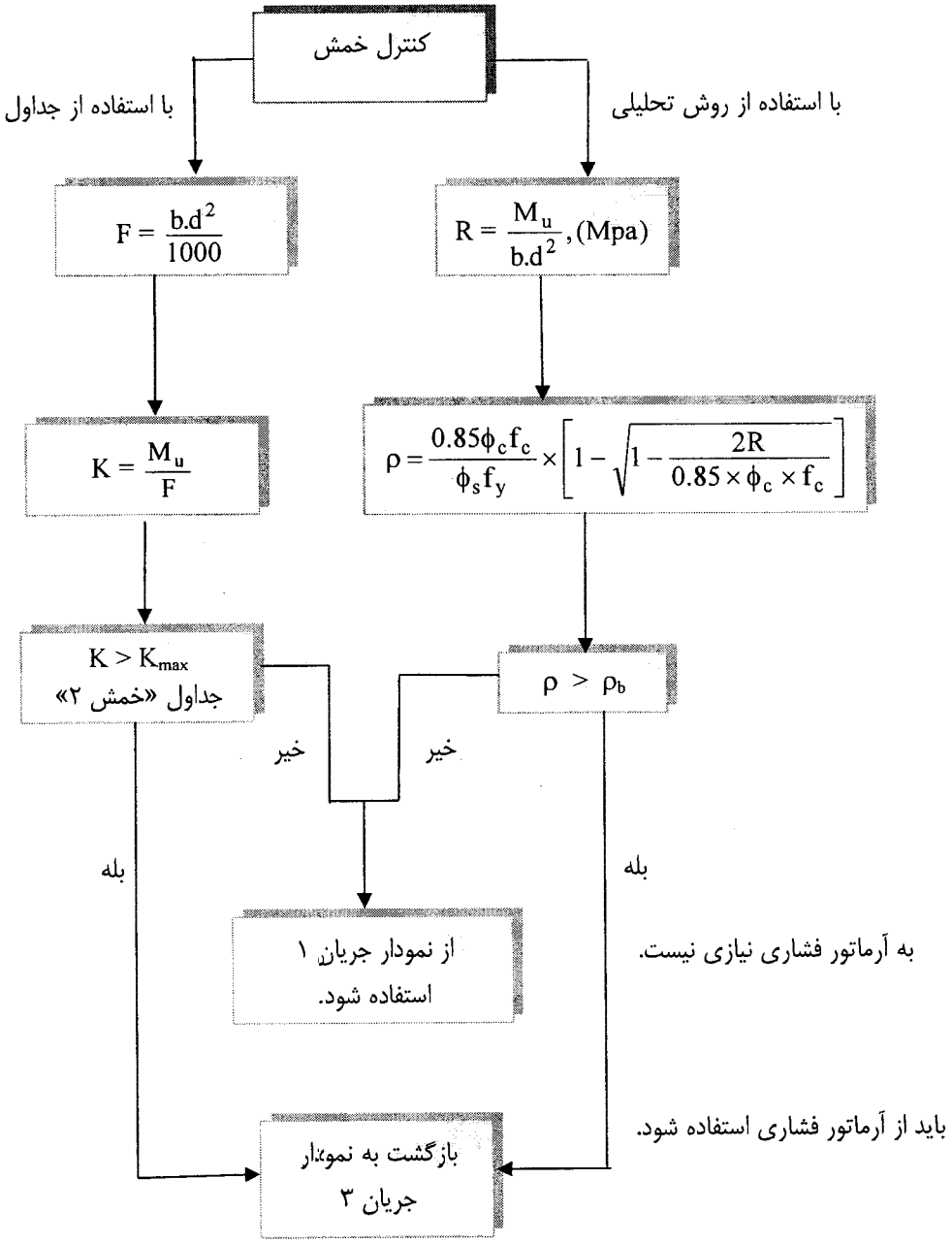


میلان آرماتور حداقل، با توجه به ضوابط بند ۸-۷ آیین‌نامه تعیین می‌شود.

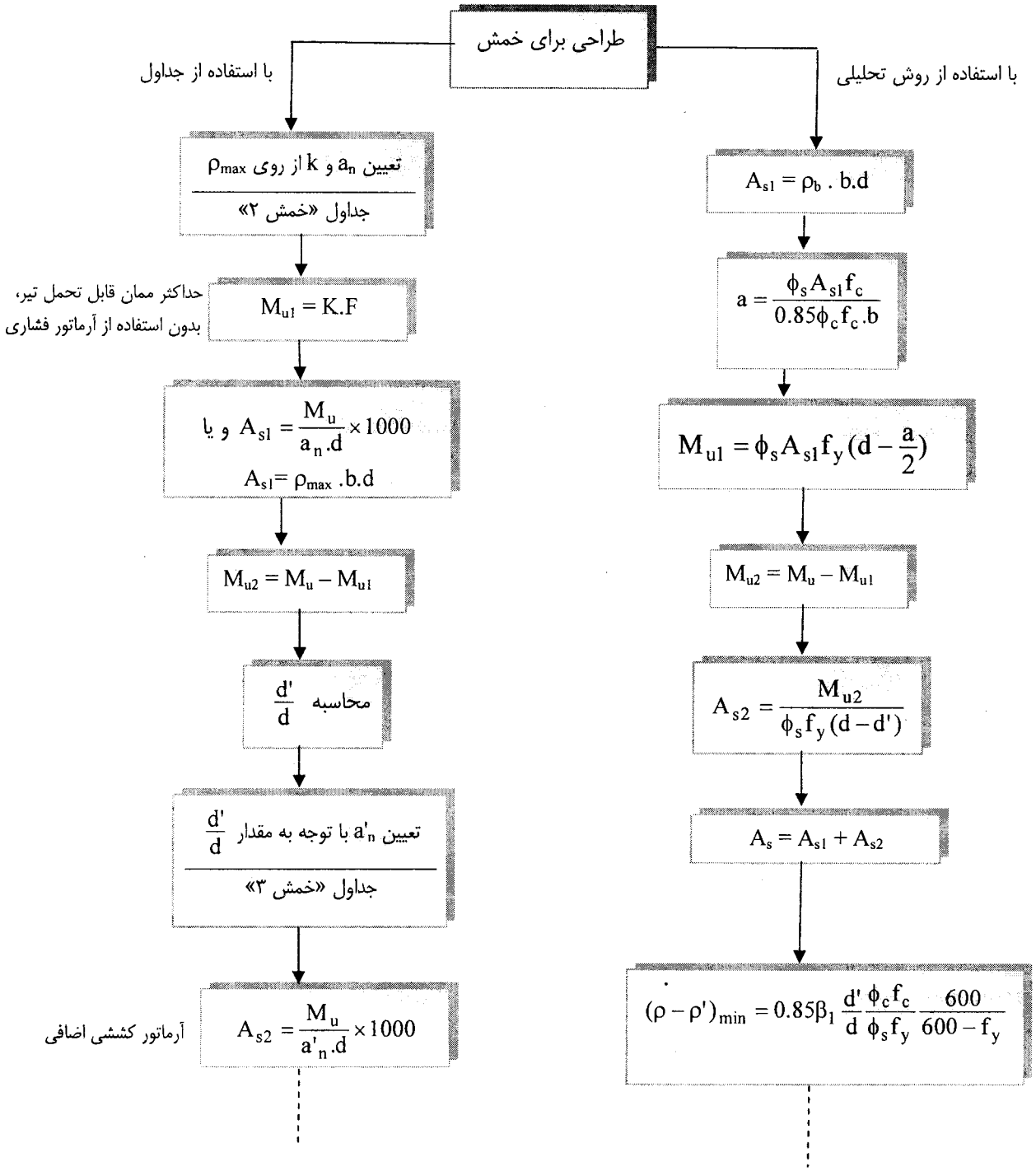
نمودار جریان ۳ : طراحی تیرهای دارای محدودیت ارتفاعی



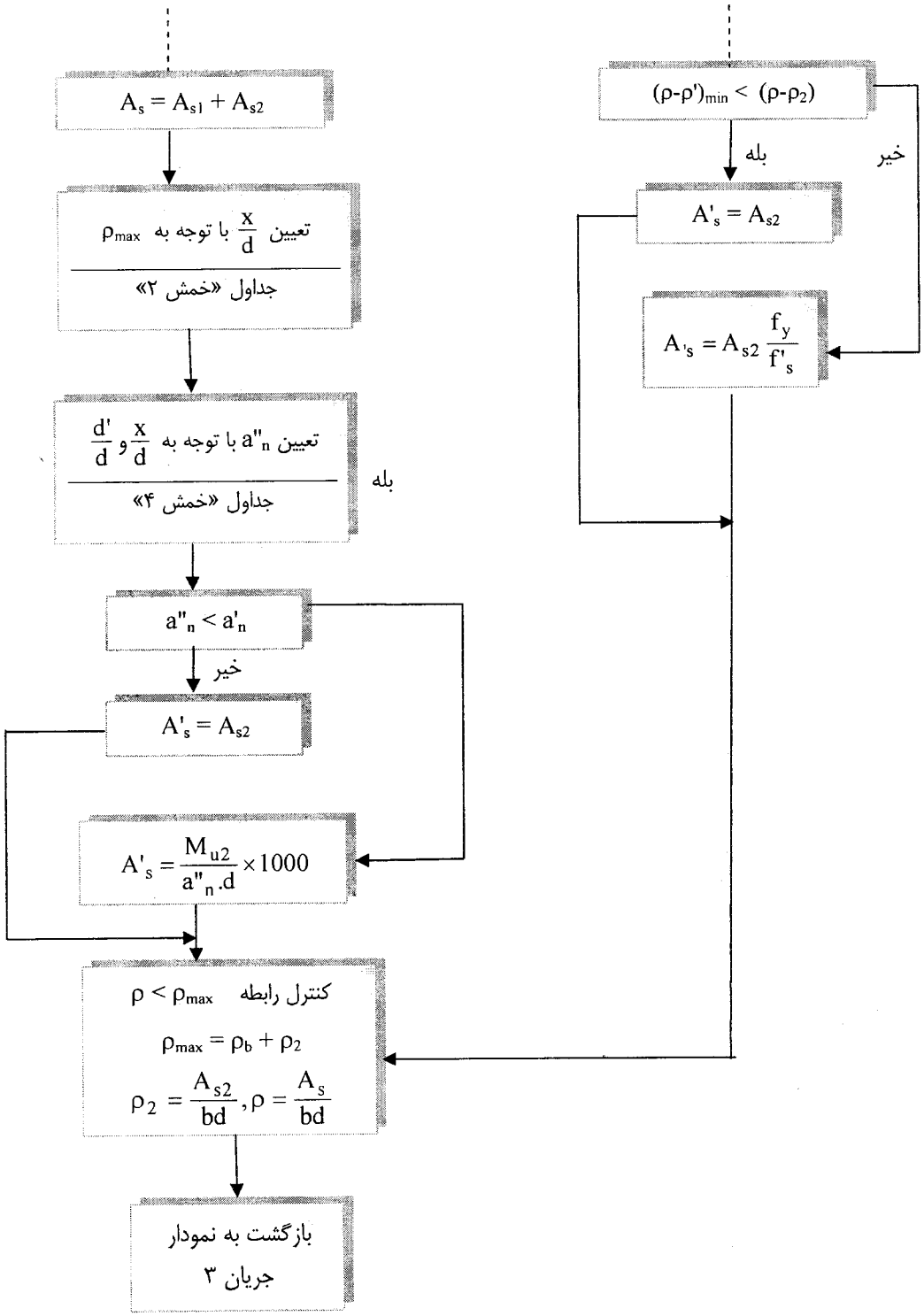
نمودار جریان ۳-۱ : کنترل خمش در تیرهای دارای محدودیت ارتفاعی



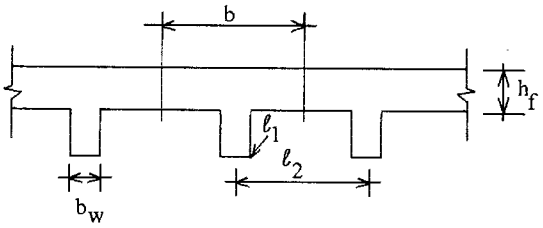
نمودار جریان ۳-۲ : طراحی برای خمش در تیرهای دارای محدودیت ارتفاعی



ادامه نمودار جریان ۳-۲



نمودار جریان ۴ : طراحی تیرهای T شکل



مشخصات :
$Mu(KN.m)$, $V_u(KN)$,
f_y (Mpa), f_c(Mpa)
h_f (cm) ضخامت بال ، l_2 فاصله بین تیرها
b_w x h (cm^2) ابعاد جان

فقط در حالتی که بال تحت فشار مـی‌باشـد از ایـن روش اسـتفاده می‌شود. عرض موثر b با توجه به ضوابط آیین‌نامه تعیین می‌گردد.

با استفاده از جداول

$$F = \frac{b.d^2}{1000}$$

$$K = \frac{M_u}{F}$$

با توجه به K از روی جدول مقدار $\frac{a}{d}$ مشخص می‌شود.

جداول «خمش ۲»

$$\frac{h_f}{d} < \frac{a}{d}$$

خیر

با استفاده از روش تحلیلی

$$\overline{M} = 0.85\phi_c f_c b.h_f (d - \frac{h_f}{2})$$

$$\overline{M} < M_u$$

خیر

بله

تیر شبیه یک مقطع مستطیلی عمل می‌کند و طراحی می‌تواند از روی نمـودار جریان ۱ و با در نظر گرفتن b به عنوان عرض تیر انجام شود.

البته در کنترل تیر برای برش و آرماتورگذاری و ترک‌خـوردگی از b_w بجـای b استفاده می‌شود.

ادامه نمودار جریان ۴

$C_f = 0.85\phi_c f_c (b - b_w).h_f$

$A_{sf} = \dfrac{C_f}{\phi_s . f_y}$

$M_{uf} = A_{sf}.\phi_s.f_y(d - 0.5h_f)$

$M_{uw} = M_u - M_{uf}$

$R_w = \dfrac{M_{uw}}{b_w.d^2}, (Mpa)$

$\rho_w = \dfrac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \dfrac{2R_w}{0.85\phi_c f_c}}\right]$

$A_{sw} = \rho_w.b_w.d$

$A_s = A_{sf} - A_{sw}$

با توجه به $\dfrac{b_w}{b}$ و از روی جدول، مقدار K_f مشخص می‌شود.

جدول «خمش ۳-۵»

با توجه به $\dfrac{h_f}{d}$ و از روی جدول، مقدار J_f و a_{nf} مشخص می‌شود.

جداول «خمش ۳»

$A_{sf} = \dfrac{K_f.J_f.b_w.h_f}{a_{nf}}$

$M_{uf} = A_{sf}.d.a_{nf}.10^{-3}$

$F = \dfrac{b_w.d^2}{1000}$

$K = \dfrac{M_u - M_{uf}}{F}$

باتوجه به K و از روی جدول، مقدار ρ و a_n مشخص می‌شود

جداول «خمش ۲»

$A_{s2} = \dfrac{M_u - M_{uf}}{a_n.d} \times 1000$ یا $\rho.b_w.d$

$A_s = A_{sf} + A_{sw}$

اگر ظرفیت فشاری بتن مقطع کافی نباشد، همانند نمودار جریان ۳-۲، از فولاد فشاری استفاده می‌شود.

انتخاب میلگردها و کنترل ترک و طراحی برای برش

توقف

مثال ۱ محاسبه آرماتورهای کششی لازم برای تیر مستطیل شکل تحت اثر خمش ساده و بدون آرماتور فشاری

برای یک تیر مستطیل شکل تحت اثر لنگر نهایی M_u ،میزان آرماتور کششی لازم را، با توجه به ابعاد تیر تعیین کنید. تیر در معـرض شـرایط محیطی ملایم قرار دارد.

مشخصات :

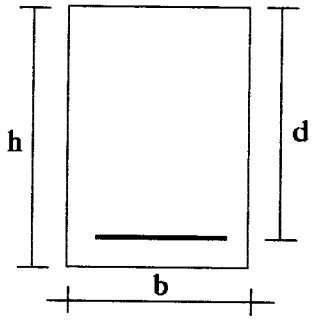
$M_u = 110$ KN.m

$f_c = 20$ MPa

$f_y = 400$ MPa

$b = 25$ cm

$h = 50$ cm



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی **گام اول)** با توجه به قطر میلگردهای طولی و خاموت‌ها و پوشش بتنی، مقدار d تخمین زده می‌شود.	۹-۲-۸
	– ضخامت پوشش– قطر خاموت– ارتفاع کل = ارتفاع موثر نصف قطر میلگرد فرض : $d = h - 1 - \frac{2}{2} - 3.5$ $d = 44.5$ cm		
		گام دوم) R برای مقطع محاسبه می‌شود. $R = \frac{M_u}{bd^2}$	فصل ۱۱
	$R = \frac{110}{1000 \times 0.25 \times 0.445^2}$ $R = 2.22$ MPa		
		گام سوم) ρ محاسبه می‌شود. $\rho = \frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R}{0.85\phi_c f_c}}\right]$	
	$\rho = \frac{0.85 \times 0.6 \times 20}{0.85 \times 400} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2.22}{0.85 \times 0.6 \times 20}}\right]$ $\rho = 0.00746$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام چهارم) ρ_{min} محاسبه می‌گردد $\rho_{min}=\frac{1.4}{f_y}$ $\rho_{min}=\frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y}$	۱-۲-۵-۱۱
	$\rho_{min}=\frac{1.4}{400}=0.0035<\rho$ O.K. $\rho_{min}=\frac{0.25\sqrt{20}}{400}=0.0028<\rho$ O.K.		
		گام پنجم) ρ_{max} محاسبه می‌شود. $\rho_{max}=0.85\beta_1\frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\frac{600}{600+f_y}$	۱-۵-۱۱
	$\rho_{max}=0.85\times0.85\frac{0.6\times20}{0.85\times400}\frac{600}{600+400}$ $\rho_{max}=0.0153>\rho$ O.K.		
		گام ششم) A_s محاسبه می‌شود. $A_s=\rho.b.d$	
	$A_s=\rho.b.d=0.00746\times25\times44.5=8.3\ cm^2$		
		ب: با استفاده از جدول «خمش ۱» **گام اول)** مقدار d مشخص می‌شود.	
	$d=44.5$ cm		
خمش - ۱	برای $f_y=400$ MPa , $f_c=20$ MPa داریم : $a_n=286$	**گام دوم)** مقدار a_n مشخص می‌شود.	
		گام سوم) A_s محاسبه می‌شود. $A_s=\frac{M_u}{a_n.d}\times1000$	
	$A_s=\frac{110}{286\times44.5}\times1000=8.64cm^2$		
		ج) با استفاده از جداول «خمش ۲» **گام اول)** مقدار d مشخص می‌شود.	
	$d=44.5$ cm		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$F=\frac{25\times 44.5^2}{1000}=49.5$	**گام دوم)** مقدار F محاسبه می‌شود. $F=\frac{b.d^2}{1000}$	
	$K=\frac{110}{49.5}=2.22$	**گام سوم)** K محاسبه می‌شود. $K=\frac{M_u}{F}$	
خمش ۲-۱	برای $f_c=20\ MPa$, $f_y=400\ MPa$ و K=2.22داریم : $\rho=0.0074$, $a_n=297.84$	**گام چهارم)** مقدار ρ و یا a_n مشخص می‌شود.	
	$A_s=0.0074\times25\times44.5=8.2\ cm^2$ و یا : $A_s=\frac{110}{297.84\times44.5}\times1000=8.2\ cm^2$	**گام پنجم)** A_s محاسبه می‌شود. $A_s=\rho.b.d$ و یا : $A_s=\frac{M_u}{a_n.d}\times1000$	

مثال ۲ **طرح تیر مستطیل شکل و بدون آرماتور فشاری، تحت اثر خمش ساده.**

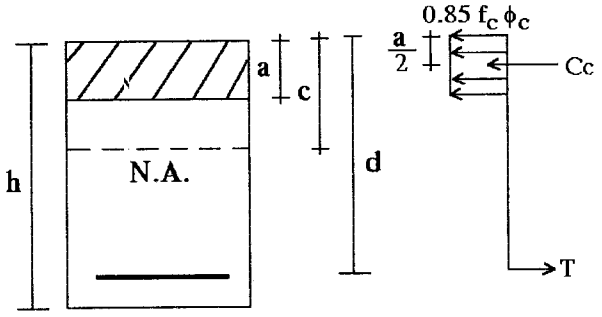
برای یک تیر مستطیل شکل تحت اثر لنگر نهایی M_u ، ارتفاع تیر h و فولاد مورد نیاز A_s را تعیین کنید. فرض کنید $\rho = 0.5\ \rho_b$ و تیر در معرض شرایط محیطی ملایم قرار دارد.

مشخصات :

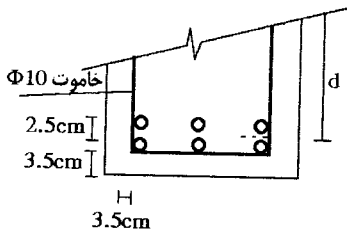
$M_u = 160$ KN.m

$f_c = 20$ MPa

$f_y = 400$ Mpa

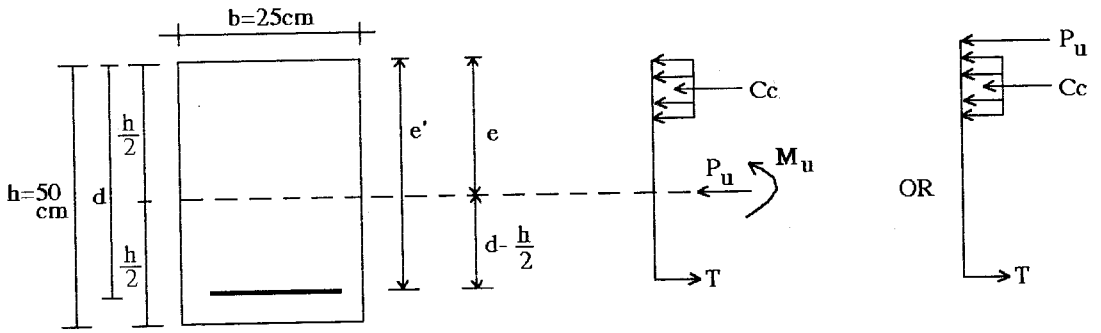


جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول)	
	برای $f_y = 400$ MPa , $f_c = 20$ MPa داریم :	تعیین ابعاد تیر با توجه به میزان ρ	۱-۵-۱۱
	$\rho_b = 0.0153$		
	$\rho = 0.5\ \rho_b = 0.0077 \approx 0.008$	محاسبه میزان R	
	$R = 0.008 \times 0.85 \times 400 \times \left[1 - 0.5 \frac{0.008 \times 0.85 \times 400}{0.85 \times 0.6 \times 20}\right]$	$R = \rho\phi_s f_y \left[1 - 0.5 \frac{\rho\phi_s f_y}{0.85\phi_c f_c}\right]$	
	$R = 2.36$ MPa		
	$(bd^2)req = \frac{160}{2.36 \times 1000} = 0.068\ m^3$	تعیین bd^2 مورد نیاز $(bd^2)req = \frac{M_u}{R}$ محاسبه	
	$d = \sqrt{\frac{(bd^2)req}{b}} = \sqrt{\frac{0.068}{0.3}}$	میزان d با فرض b = 30 cm (عرض ستون)	
	$d = 0.48$ m = 48 cm		
		گام دوم)	
	$A_s = 0.0008 \times 30 \times 48 = 11.52\ cm^2$	تعیین میزان فولاد مورد نیاز $A_s = \rho.b.d$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام سوم)	
	USE 6 Φ 16 , $A_s = 12.06\ cm^2$	انتخاب میلگردها	۸-۲-۶-۱
	با فرض وجود 3Φ16 در هر لایه فاصله آزاد بین میلگردها برابر است با:	کنترل عرض تیر	۸-۲-۶-۲
	$\frac{30-2\times3.5-2\times1-3\times1.6}{2}=8.1cm>2.5\ cm$ O.K		۸-۲-۹-۲
		ب: با استفاده از جداول «خمش ۲»	
	با توجه به قسمت الف:	**گام اول)**	۱۱-۵-۱
	$\rho = 0.5\ \rho_b = 0.008$	تعیین ابعاد تیر با توجه به میزان ρ	
خمش ۲-۱	برای $f_y = 400\ MPa$ و $f_c = 20\ MPa$ و $\rho=0.008$ داریم :	مقدار K و a_n را بدست آورید.	
	$K= 2.3846\quad ,\quad a_n = 293.760$	مقدار F را محاسبه کنید.	
	$F=\frac{160}{2.3846}=67.1$	$F=\frac{M_u}{K}$	
	$d=(\frac{1000\times67.1}{30})^{1/2}=47.3\approx48\ cm$	با فرض b=30cm مقدار d را محاسبه کنید.	
		$d=(\frac{1000\times F}{b})^{1/2}$	
		گام دوم)	
	$A_s=\frac{160}{293.76\times48}\times1000=11.35\ cm^2$	تعیین میزان فولاد مورد نیاز	
	$A_s = 0.008\times30\times48= 11.52\ cm^2$	$A_s=\frac{M_u}{a_n.b}\times1000$	
	$\therefore\ A_s = 11.52\ cm^2$	و یا :	
		$A_s= \rho.b.d$	

مثال ۳ **محاسبه آرماتورهای کششی لازم برای تیر مستطیل شکل و بدون آرماتور فشاری ، که تحت تاثیر نیـروی محـوری کوچکی نیز قرار دارد.**

مثال ۱ را با این فرض که علاوه بر لنگر خمشی $M_u = 110$ KN.m تحت اثیر نیروی محوری $P_u = 200$KN قرار دارد، حل کنید.



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول)	۱-۸-۱۱
		کنترل کوچک بودن نیروی محوری وارده	
	$0.15\times0.6\times20\times0.5\times0.25\times1000$ $= 225KN > 200$ O.K	$0.15\phi_c f_c A_g$	
		گام دوم)	
		محاسبه خروج از محوری e'	
	$e = \frac{110}{200} = 0.55m = 55$ cm	$e = \frac{M_u}{P_u}$	
	$e' = 55 + 44.5 - \frac{50}{2} = 74.5$ cm	$e' = e + d - \frac{h}{2}$	
		گام سوم)	
	$P_u.e' = 200\times0.745 = 149$ KN.m	محاسبه $P_u.e'$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام چهارم) R برای مقطع محاسبه می‌شود. $R=\frac{P_u.e'}{bd^2}$	فصل ۱۱
	$R=\frac{149}{1000\times0.25\times0.445^2}$ $R=3\ MPa$		
		گام پنجم) ρ محاسبه می‌شود. $\rho=\frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2R}{0.85\phi_c f_c}}\right]$	
	$\rho=\frac{0.85\times0.6\times20}{0.85\times400}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times3}{0.85\times0.6\times20}}\right]$ $\rho=0.011$		
		گام ششم) A_s محاسبه می‌شود. $A_s=\rho bd-\frac{P_u}{\phi_s f_y}$ **تذکر:** اگر A_s منفی شود، این روش قابـل قبـول نبوده و مقطع باید هماننـد یـک سـتون طراحـی شود.	
	$A_s=0.011\times0.25\times0.445-\frac{200\times10^{-3}}{0.85\times400}$ $A_s=1.22\times10^{-3}-0.588\times10^{-3}=6.3\times10^{-4}\ m^2$ $A_s=6.3\ m^2$		
		گام هفتم) مقایسه میزان فولاد بدست آمده یا A_{Smin} $A_{Smin}=\frac{1.4}{f_y}bd$ $A_{Smin}=\frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y}bd$ **تذکر:** برای انتخاب میلگردها گام سوم مثال ۲ را ببینید. کنترل فاصله بین آرماتورها و عرض ترک و تغییر شکل انجام شود.	۱-۲-۵-۱۱
	$A_{Smin}=\frac{1.4}{400}\times25\times44.5$ $=3.89\ cm^2<A_s$ O.K. $A_{Smin}=\frac{0.25\sqrt{20}}{400}\times25\times44.5$ $A_{Smin}=3.1cm^2<A_s$ OK.		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$a_{bal} = \frac{600 \times 0.85}{600 + 400} \times 44.5 = 22.7 \ \ cm$ $P_{bal} = [0.85 \times 0.6 \times 20 \times 0.25 \times 0.227 - 0.85 \times 6.3 \times 10^{-4} \times 400] \times 10^3$ $P_{bal} = 365 \ KN > P_u$ O.K.	**گام هشتم)** کنترل کمتر بودن P_u از P_b $a_{bal} = (\frac{600 \times \beta_1}{600 + f_y})d$ $P_{bal} = 0.85\phi_c f_c b.a_{bal} - \phi_s A_s f_y$	
	با توجه به قسمت الف : $P_u.e' = 149 \ KN.m$	**ب: با استفاده از جداول «خمش ۲»** **گام اول)** محاسبه خروج از محوری $P_u.e'$	
	$F = \frac{25 \times 44.5^2}{1000} = 49.5$	**گام دوم)** مقدار F محاسبه می‌شود. $F = \frac{b.d^2}{1000}$	فصل ۱۱
	$K = \frac{149}{49.5} = 3.01$	**گام سوم)** K محاسبه می‌شود. $K = \frac{P_u.e'}{F}$	
خمش ۲-۱	برای $f_c = 20$ MPa , $f_y = 400$ MPa و K=3 داریم : $a_n = 277.78$	**گام چهارم)** مقدار a_n	
	$A_s = \frac{149 \times 10^3}{277.78 \times 44.5} - \frac{200 \times 10}{0.85 \times 400}$ $A_s = 12.05 - 5.88 = 6.17 \ cm^2$	**گام پنجم)** محاسبه A_s $A_s = \frac{P_u \times e' \times 10^3}{a_n.d} - \frac{P_u \times 10}{\phi_s f_y} cm^2$ P_u برحسب KN و d بر حسب cm می‌باشد. **تذکر:** کنترل فولاد حداقل و کمتر بودن P_u از P_b همانند قسمت الف انجام می‌شود.	

مثال ۴ انتخاب ضخامت و آرماتورهای کششی برای یک دال بدون آرماتور فشاری و تحت اثر خمش ساده

برای یک دال تحت اثر لنگر خمشی Mu، ضخامت h و میزان آرماتور مورد نیاز را تعیین کنید. دال در معرض شرایط محیطی ملایم قرار دارد.

مشخصات :

$M_u = 35 \ \ KN.m$

$f_c = 20 \ \ MPa$

$f_y = 300 \ \ MPa$

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف) با استفاده از روش تحلیلی	
	$M_u = 35 \ \ KN.m$	**گام اول)**	
	$\rho_b = 0.85\beta_1 \frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \frac{600}{600+f_y}$	اگر ضخامت مشخصی مد نظر نباشد بهتر است ضخامت دال را طوری تعیین کنیم که درصد فولاد لازم حدود $0.5\ \rho_b$ باشد.	۱-۵-۱۱
	$\rho_b = 0.0227$		
	$0.5\ \rho_b \approx 0.011$		
	$R = \rho\phi_s f_y [1 - 0.5\frac{\rho\phi_s f_y}{0.85\phi_c f_c}]$		
	$R = 0.011\times0.85\times300[[1 - 0.5\frac{0.011\times0.85\times300}{0.85\times0.6\times20}]$		
	$R = 2.42$		
	$(1\times d^2)req = \frac{M_u}{R} = \frac{35}{2.42\times1000} = 0.014m^2$		
	$d = 0.12 \ \ m = 12 \ \ cm$		
	$A_s = \rho bd = 0.011\times100\times12 = 13.2 \ \ cm^2/m$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام دوم)	
	USE Φ 16/15cm , $A_s = 13.4\ cm^2/m$	انتخاب میلگردها و فاصله بین آنها ($S_{max} = 3\ h \leq 35\ cm$)	۸-۲-۶-۶
		گام سوم)	
	d = 12 cm شعاع آرماتور = 0.8 cm پوشش بتن = 2 cm مجموع = 14.8 cm ≈15 cm پس d = 12.2 cm	تعیین h	۸-۲-۹-۲
		گام چهارم)	
	برای d = 12.2cm و $M_u = 35KN.m$ مقدار فولاد مورد نیاز برابر خواهد بود با : $A_s = 12.98\ cm^2/m$ هنوز Φ16/15 cm قابل قبول است.	محاسبه مجدد A_s و در صورت لزوم اصلاح آرماتورها و فاصله بین آنها	
		گام پنجم)	
	$A_{S\min} = 0.002 \times 100 \times 15 = 3\ cm^2/m < A_s$ O.K.	کنترل فولاد حداقل $A_{S\min} = 0.002bh$	۸-۷-۳
		گام ششم)	
		اگر h کمتر از مقدار پیشنهادی جدول (۱۴-۲-۴-۳) آیین‌نامه باشد، باید تغییر شکلها را کنترل نمود.	۱۴-۲-۴-۳
		گام هفتم)	
		کنترل ترک‌خوردگی	فصل ۱۴

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
خمش ۲-۱	با توجه به قسمت الف : $\rho = 0.011$ برای $f_y = 300\ MPa$, $f_c = 20MPa$ و $\rho = 0.011$ داریم : $K = 2.471$, $a_n = 218.79$ $F = \frac{35}{2.471} = 14.16$ $d = (\frac{1000 \times 14.16}{100})^{1/2} = 11.9cm \approx 12\ cm$ $A_s = 0.011 \times 100 \times 12 = 13.2\ cm^2/m$	**ب: با استفاده از جداول «خمش ۲»** **گام اول)** تعیین ضخامت دال با توجه به میزان ρ $F = \frac{M_u}{K}$ $d = (\frac{1000 \times F}{b})^{1/2}$ $A_s = \rho.b.d$ **تذکر:** بقیه گام‌ها همانند قسمت "الف" است.	فصل ۱۱
خمش ۵-۱	با توجه به قسمت الف : $\rho = 0.011$ برای $f_y = 300\ MPa$, $f_c = 20MPa$ و $\rho = 0.011$ و $M_u = 35KN.m$ داریم : $d = 12\ cm$ $A_s = 0.011 \times 100 \times 12 = 13.2\ cm^2/m$	**ج) با استفاده از جداول «خمش ۵»** **گام اول)** تعین ضخامت دال با توجه به میزان ρ $A_s = \rho.b.d$ **تذکر:** بقیه گام‌ها همانند قسمت "الف" است.	

مثال ۵ انتخاب ضخامت دال یکطرفه برای کنترل افت و محاسبه آرماتور کششی برای خمش ساده، در دال بدون آرماتور فشاری

برای عرض واحد از دال تحت اثر لنگر خمشی Mu، ضخامت دال و میزان آرماتور مورد نیاز را تعیین کنید فرض کنید طول دال پیوسته از هر دو طرف برابر ۹ متر است. دال در معرض شرایط محیطی ملایم قرار دارد.

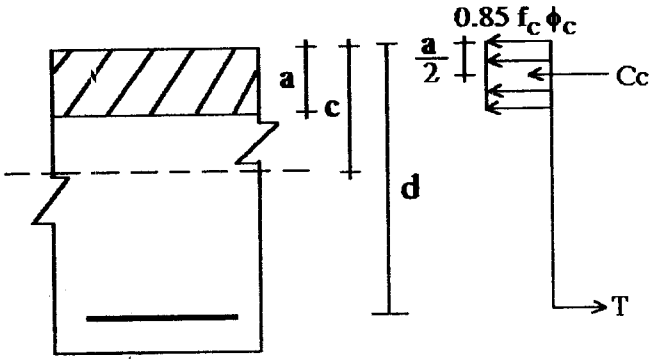
مشخصات :

$M_u = 130$ KN.m

$f_c = 20$ MPa

$f_y = 400$ MPa

$b = 100$ cm



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام اول)	
		در حالاتی که در انتخاب ضخامت دال محدودیتی وجود ندارد می‌توانیم آنرا همانند مثال ۴ از روی $\rho \approx 0.5\ \rho b$ تعین کنیم و یا از جدول (۱۴-۲-۴-۳) استفاده نماییم. در این مثال از جدول (۱۴-۲-۴-۳) استفاده شده است و فرض بر آن بوده که عناصر غیره سازه‌ای نسبت به تغییر شکل دال حساس نیستند.	۱-۲-۱-۱۴
	$h_{l_{min}} = \frac{L}{28} = \frac{900}{28} = 32$ cm		
	$d = 32\text{-}3 = 29$		
خمش ۵-۱	برای $f_c = 20$MPa , $f_y = 400$ MPa و M_u= 130KN.m و $d = 29$cm داریم :	مجموع ضخامت پوشش بتن و شعاع آرماتور برابر ۳ سانتیمتر فرض می‌شود.	۸-۲-۹-۲
	$\rho_l = 0.005 \rightarrow A_s = 0.005 \times 100 \times 29$	با توجه به M_u و d مقدار A_s محاسبه می‌شود.	۱-۵-۱۱
	$A_s = 14.5\ cm^2$		۳-۲-۵-۱۱

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام دوم)	۶-۲-۸
	USE Φ 20 , $A_b = 3.14\ cm^2$	انتخاب میلگردها و فاصله بین آنها. ابتدا میلگرد انتخاب می‌شود و سپس فاصله بین میلگردها محاسبه می‌گردد.	
	$S = \frac{100 \times 3.14}{14.5} = 21.65\ cm$ USE $S = 20\ cm$	فاصله مرکز تا مرکز میلگردها $= \frac{100 \times A_b}{A_s}$	
		گام سوم)	۱-۳-۵-۱۱
	فاصله بین میلگردها کمتر از 35 cm است. O.K.	کنترل توزیع آرماتورهای خمشی	۶-۶-۲-۸
		گام چهارم)	۲-۹-۲-۸
	ضخامت پوشش + شعاع میلگرد+ h = d h = 29 + 1 + 2 = 32 cm O.K.	محاسبه مقدار دقیق h	
		گام پنجم)	۳-۴-۲-۱۴
	$h = 32\ cm = h_{min}$ پس نیازی به کنترل میزان افت تیر نمی‌باشد.	چون اعضاء غیر سازه‌ای نسبت به تغییر شکل دال حساس نیستند، در صورتی h کمتر از مقدار پیشنهادی جدول (۱۴-۲-۴-۳) باشد، کنترل تغییر شکل لازم است. اگر اعضاء غیر سازه‌ای نسبت به تغییر شکل حساس باشند، باید در تمامی حالات میزان افت کنترل شود.	

مثال ۶ **تعیین آرماتورهای کششی و فشاری لازم برای یک تیر مستطیل شکل تحت اثر خمش ساده. آرماتورهای فشاری جاری نمی‌شوند.**

برای یک تیر مستطیل شکل با ابعاد مشخص و تحت اثر لنگر خمشی M_u آرماتورهای کششی و فشاری لازم را تعیین کنید.

: مشخصات

$M_u = 210$ KN.m

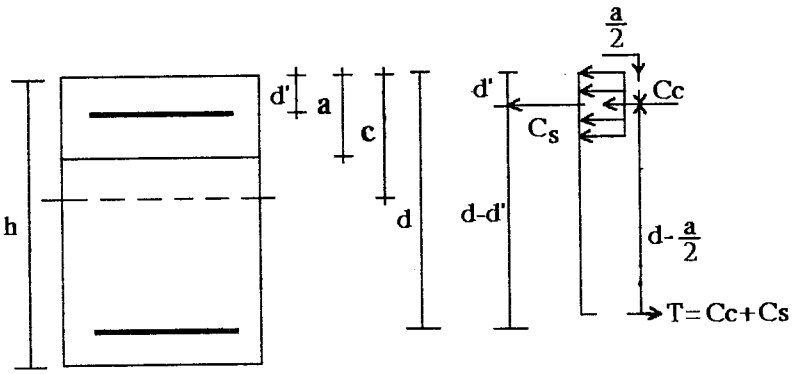
$f_c = 25$ MPa

$f_y = 400$ MPa

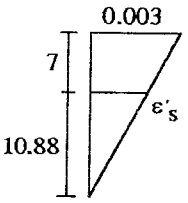
b = 30 cm

d = 30 cm

d ' = 7 cm



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول)	
		تعیین مقاومت مقطع هنگام استفاده از ρ_{max} و بدون آرماتور فشاری (M_{u1})	۱-۵-۱۱
	$\rho_{max} = 0.85\times0.85\frac{0.6\times25}{0.85\times400}\frac{600}{600+400}$	$\rho_{max} = \rho_b = 0.85\beta_1\frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\frac{600}{600+f_y}$	
	$\rho_{max} = 0.019$		
	$A_{sd} = 0.019\times30\times30 = 17.1\ cm^2$	$A_{s1} = \rho_{max}\ b\ d$	
	$a = \frac{0.85\times17.1\times400}{0.85\times0.6\times25\times30} = 15.2$ cm	$a = \frac{\phi_s A_{s1} f_y}{0.85\phi_c . f_c . b}$	
	$M_{u1} = 0.85\times17.1\times10^{-4}\times400(0.3-\frac{0.152}{2})\times10^3$	$M_{u1} = \phi_s A_{s1} f_y (d-\frac{a}{2})$	
	$M_{u1} = 130.2$KN.m < 210 KN.m	اگر مقاومت مقطع (M_{u1}) کمتر از M_u باشد، باید از آرماتور فشاری استفاده نمود.	
	$M_{u2} = 210-130.2 = 79.8$ KN.m	$M_{u2} = M_u - M_{u1}$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام دوم) محاسبه A_{s2} و A_s $A_{s2}=\frac{M_{u2}}{\phi_s f_y (d-d')}$ $A_s = A_{s1} + A_{s2}$	
	$A_{s2}=\frac{79.8\times10^{-3}}{0.85\times400\times(0.30-0.07)}\times10^4$ $=10.2\ cm^2$ $A_s = 17.1 + 10.2 = 27.3\ cm^2$		
		گام سوم) محاسبه سطح مقطع فولاد فشاری A'_s در این مرحله باید $(\rho-\rho_2)$ را با $(\rho-\rho')_{min}$ مقایسه کرد. اگر $(\rho-\rho')_{min}\le(\rho-\rho_2)$ باشد فولاد فشاری جاری می‌شود و $A'_s=A_{s2}$ در غیر اینصورت $A'_s = A_{s2}\frac{f_y}{f'_s}$ $(\rho-\rho')_{min}=0.85\beta_1\frac{d'}{d}\frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\frac{600}{600-f_y}$	۳-۱۱ ۴-۱۱
	$\rho-\rho_2=\frac{27.3}{30\times30}-\frac{10.2}{30\times30}=0.019$ $(\rho-\rho')_{min}=0.85\times0.85\times\frac{7}{30}\times\frac{0.6\times25}{0.85\times400}$ $\frac{600}{600-400}=0.0223$ $(\rho-\rho_2)<(\rho-\rho')_{min}$ پس آرماتور فشاری به حد جاری شدن نمی‌رسد. $A_{s1}=17.1\ cm^2$ $a=\frac{0.85\times17.1\times400}{0.85\times0.6\times25\times30}=15.2\ cm$ $x=\frac{15.2}{0.85}=17.88$  $\varepsilon'_s=\frac{0.003}{17.88}\times10.88=0.0018$ $\varepsilon_y=\frac{400}{2\times10^5}=0.0020$ $A'_s=A_{s2}\frac{f_y}{f'_s}=A_{s2}\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon'_s}$ $A'_s=10.2\times\frac{0.0020}{0.0018}=11.3\ cm^2$	$a=\frac{\phi_s.A_{s1}.f_y}{0.85\phi_c f_c b}$ $x=\frac{a}{0.85}$ $\varepsilon_y=\frac{f_y}{E_s}$	۲-۵-۴

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$\rho_{max} = 0.019 + \frac{10.2}{30 \times 30} = 0.03$ $\rho = \frac{27.3}{30 \times 30} = 0.03 \le \rho_{max}$	**گام چهارم)** کنترل رابطه $\rho < \rho max$ $\rho_{max} = \rho_b + \rho_2$ $\rho = \frac{A_s}{b.d}$	
		گام پنجم) آرماتورهای فشاری باید توسط خاموت و یا تنگ مهار شوند.	۲-۵-۸
		گام ششم) در صورتی که ارتفاع تیر کمتر از مقادیر پیشنهادی جدول (۱۴-۲-۴-۳) باشد و یا اعضاء غیر سازه‌ای حساس در برابر تغییر شکل را تحمل نماید، باید افت را کنترل نمود.	۱-۱-۲-۱۴
خمش ۲-۲	برای $f_y = 400\ MPa$, $f_c = 25\ MPa$ داریم : $\rho_{max} = 0.019$, $K = 4.8117$ $a_n = 253.64$, $\frac{x}{d} = 0.597$ $F = \frac{30 \times 30^2}{1000} = 27$ $M_{u1} = 4.8117 \times 27 = 129.92\ KN.m$ $M_{u2} = 210 - 129.92 = 80.80\ KN.m$ $A_{s1} = 0.019 \times 30 \times 30 = 17.1\ cm^2$	**ب: با استفاده از جداول «خمش ۲و۳و۴»** **گام اول)** محاسبه A_{s1} , M_{u2} , M_{u1} $F = \frac{b.d^2}{1000}$ $M_{u1} = K.F$ $M_{u2} = M_u - M_{u1}$ $A_{s1} = \rho_{max}\ bd$	
خمش ۲-۳	برای $\frac{d'}{d} = \frac{7}{30} = 0.23$ و $f_c = 25MPa$ و $f_y = 400MPa$ داریم: $a'_n = 261.8$ $A_{s2} = \frac{80.80}{261.8 \times 30} \times 1000 = 10.2\ cm^2$ $A_s = 17.1 + 10.2 = 27.3\ cm^2$	**گام دوم)** محاسبه A_{s2} و A_s $A_{s2} = \frac{M_{u2}}{a'_n.d} \times 1000$ $A_s = A_{s1} + A_{s2}$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
خمش ۴		**گام سوم)**	
	برای $\frac{x}{d}=0.597$ و $\frac{d'}{d}=0.23$ داریم:	محاسبه A'_s	
	$a''=241.4 < a'_n$	در این مرحله a'_n و a''_n را مقایسه می‌کنـیم، اگـر $a''_n<a'_n$ باشد آرماتور فشاری جاری نشده است و برای محاسبه A'_s باید از a''_n استفاده نمود.	۳-۱۱
	$A'_s=\frac{80.80}{241.4\times30}\times1000=11.06\ \ cm^2$	$A'_s=\frac{M_{u2}}{a''_n.d}\times1000$	۴-۱۱

مثال ۷ **تعیین آرماتور کششی لازم برای یک تیر مستطیل شکل تحت اثر خمش ساده، با آرماتورها فشاری مشخص.**

برای یک تیر مستطیل شکل تحت اثر لنگر خمشی M_u ، با فرض مشخص بودن مقدار A'_s، میزان A_s را محاسبه کنید.

: مشخصات

$M_u = 330$ KN.m

$f_c = 20$ MPa

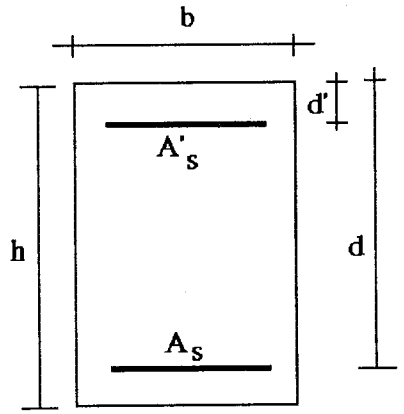
$f_y = 400$ MPa

$b = 25$ cm

$d = 50$ cm

$d' = 5$ cm

$A'_s = 11.4\ cm^2$ (3 Φ 22)



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی **گام اول)** محاسبه M_{u2} $M_{u2} = \phi_s f_y A'_s (d-d')$ (فرض می‌کنیم آرماتور فشاری، جاری می‌شود)	فصل ۱۱
	$M_{u2} = 0.85\times400\times11.4\times10^{-4}\times$ $(0.5-0.05)\times10^{3} = 174.4$ KN		
		گام دوم) محاسبه M_{u1} $M_{u1} = M_u - M_{u2}$	
	$M_{u1} = 330-174.4 = 155.6$ KN		
		گام سوم) محاسبه R $R = \frac{M_{u1}}{bd^2}$	
	$R = \frac{155.6}{1000\times0.25\times0.5^2} = 2.49$Mpa		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام چهارم) محاسبه ρ_1 $\rho_1 = \frac{0.85\phi_s f_c}{\phi_s f_y}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2R}{0.85\times\phi_c\times f_c}}\right]$	
	$\rho = \frac{0.85\times0.6\times20}{0.85\times400}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times2.49}{0.85\times0.6\times20}}\right]$ $\rho_1 = 0.00854 < \rho_b$ O.K. (FOR $f_c = 20$ MPa , $f_y = 400$ MPa) $\rho_b = 0.0153$		
		گام پنجم) محاسبه A_{s1} $A_{s1} = \rho_1\ bd$ برای اطمینان از جاری شـدن فـولاد فشـاری کنترل زیر را انجام می‌دهیم: IF : $(\rho-\rho')_{min} < \rho-\rho'$ O.K. $(\rho-\rho')_{min} = 0.85k_1\frac{d'}{d}\frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\frac{600}{600-f_y}$ $\rho-\rho' = \frac{A_{s1}}{bd}$ **تـذکر:** اگـر فـولاد فشـاری جـاری نشـود (یعنی $f'_s(\varepsilon'_s<\varepsilon_y)$ را یافته و M_{u2} را با استفاده از آن محاسبه می‌کنـیم. سـپس گامهـای دوم تـا پنجم را مجدداً تکرار می‌نمائیم.	
	$A_{s1} = 0.00854\times25\times50 = 10.675\ cm^2$ $(\rho-\rho')_{min} = 0.85\times0.85\times\frac{5}{50}\times\frac{0.6\times25}{0.85\times400}\times\frac{600}{600-400} = 0.0077$ $(\rho-\rho') = \frac{10.675}{25\times50} = 0.00854 > (\rho-\rho')_{min}$ O.K.		
		گام ششم) محاسبه A_s $A_s = A_{s1} + A_{s2}$	
	$A_s = 10.675 + 11.4 = 22.075\ cm^2$		
		گام هفتم) کنترل محاسبات $a = \frac{(A_s - A'_s)\phi_s.f_y}{0.85\phi_c f_c b}$	
	$a = \frac{10.675\times0.85\times400}{0.85\times0.6\times20\times25} = 14.23$ cm		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$M_u = [10.675\times10^{-4}\times0.85\times400(0.5-\frac{0.1423}{2})$ $+11.4\times10^{-4}\times0.85\times400(0.5-0.05)]\times10^{-3}$ $= 330$ KN O.K.	$M_u = (A_s - A'_s)\phi_s f_y(d-\frac{a}{2})$ $+ A'_s\phi_s f_y(d-d')$	
	USE 6 Φ 22 , $A_s = 22.81$ cm^2	**گام هشتم)** انتخاب میلگردها در انتخاب میلگردها باید به مسائل مربوط به مهار و وصله آرماتورها محدودیت فواصل بین آنها و پارامتر ترک خوردگی توجه کرد. آرماتورهای فشاری باید توسط خاموت و یا تنگ محصور شوند.	فصل ۲۸ ۸-۲-۶ ۱۴-۳ ۸-۵-۲
خمش ۳-۱	برای $\frac{d'}{d}=\frac{5}{50}=0.1$ و f_c=20MPa ،f_y=400MPa داریم: $a'_u = 306$ $M_{u2} = \frac{11.4\times306\times50}{1000} = 174.4$KN.m	**ب: با استفاده از جداول «خمش۲و۳و۴»** **گام اول)** محاسبه M_{u2} $M_{u2} = \frac{A'_s.a'_n.d}{1000}$ (با فرض جاری شدن فولاد فشاری)	
	$M_{u1} = 330-174.4 = 155.6$ KN	**گام دوم)** محاسبه M_{u1} $M_{u1} = M_u - M_{u2}$	
	$F = \frac{25\times50^2}{1000} = 62.5$ $K = \frac{155.6}{62.5} = 2.49$	**گام سوم)** محاسبه K $F = \frac{b.d^2}{1000}$ $K = \frac{M_{u1}}{F}$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
خمش ۲-۱	برای $fy = 400\ MPa\ ,\ fc = 20\ MPa$ و $k = 2.49$ داریم : $a_n = 291.5, \frac{x}{d} = 0.337$	**گام چهارم)** تعیین a_n	
	$A_{sl} = \frac{155.6}{291.5 \times 50} \times 1000 = 10.676$	**گام پنجم)** محاسبه A_{sl} $A_{sl} = \frac{M_{ul}}{a_n.d} \times 1000$	
خمش ۴	برای $\frac{x}{d} = 0.337$ و $\frac{d'}{d} = 0.1$ داریم: $a''_n = 324 > a'_n$ O.K.	**گام ششم)** کنترل جاری شدن فولاد فشاری در این مرحله a'_n و a''_n را مقایسه می‌کنیم، اگـر $a''_n > a'_n$ باشد فولاد فشاری جاری می‌شود.	
	$A_s = 10.676 + 11.4 = 22.076\ cm^2$	**گام هفتم)** محاسبه A_s $A_s = A_{sl} + A'_s$ **تذکر:** سایر مراحل همانند قسمت الف است.	

مثال ۸ **تعیین آرماتور کششی لازم برای تیر T شکل تحت اثر خمش ساده، در حالتی که ارتفاع بلوک تنش معادل کمتر از ضخامت بال است.**

برای یک تیر T شکل تحت اثر لنگر خمشی M_u ، میزان آرماتورهای کششی لازم را محاسبه کنید.

مشخصات :

$M_u = 290$ KN.m

$f_c = 20$ MPa

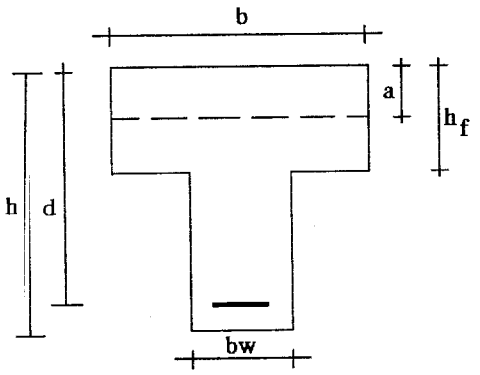
$f_y = 400$ MPa

$b = 75$ cm

$b_w = 25$ cm

$d = 50$ cm

$h_f = 10$ cm



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف) با استفاده از روش تحلیلی **گام اول)** برای مستطیل بزرگ مقدار R محاسبه می‌شود. $R = \frac{M_u}{bd^2}$	فصل ۱۱
	$R = \frac{290}{1000 \times 0.75 \times 0.50^2} = 1.547$ MPa		
		گام دوم) ρ و A_s محاسبه می‌شوند. $\rho = \frac{0.85\phi_s f_c}{\phi_s f_y} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R}{0.85 \times \phi_c \times f_c}}\right]$ $A_s = \rho.b.d$	
	$\rho = \frac{0.85 \times 0.6 \times 20}{0.85 \times 400} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1.547}{0.85 \times 0.6 \times 20}}\right]$ $\rho = 0.00496$ $A_s = 0.00496 \times 75 \times 50 = 18.6$ cm^2		
		گام سوم) a محاسبه شده و با h_f مقایسه می‌گردد. $a = \frac{A_s.\phi_s.f_y}{0.85\phi_c f_c b}$	
	$a = \frac{18.6 \times 0.85 \times 400}{0.85 \times 0.6 \times 20 \times 75} = 8.27 < h_f$ O.K.		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام چهارم) کنترل فولاد حداقل $\rho_{min}=\frac{1.4}{f_y}$ $\rho_{min}=\frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y}$	۱-۲-۵-۱۱
	$\rho_{min}=\frac{1.4}{400}=0.0035$ $\rho_{min}=\frac{0.25\sqrt{200}}{400}=0.0028$ $\frac{A_s}{b_w d}=\frac{18.6}{25\times 50}=0.0149>\rho_{min}$ O.K.		
		ب: با استفاده از جداول «خمش ۲» **گام اول)** با توجه به مستطیل بزرگ، مقدار F محاسبه می‌شود. $F=\frac{b.d^2}{1000}$	
	$F=\frac{75\times 50^2}{1000}=187.5$		
		گام دوم) محاسبه K $K=\frac{M_u}{F}$	
	$K=\frac{290}{187.5}=1.55$		
خمش ۲-۱	برای $f_y=400$ MPa , $f_c=20$ MPa و k = 1.55 داریم : $\rho=0.0049, \frac{a}{d}=0.165$	**گام سوم)** محاسبه ρ و $\frac{a}{d}$	
	$\frac{h_f}{d}=\frac{10}{50}=0.2>\frac{a}{d}$ O.K.	**گام چهارم)** محاسبه $\frac{h_f}{d}$ و مقایسه آن با $\frac{a}{d}$	
	$A_s=0.0049\times 75\times 50=18.38$ cm^2	**گام پنجم)** محاسبه A_s $A_s=\rho.b.d$	

مثال ۹ **تعیین آرماتور کششی لازم برای تیر T شکل تحت اثر خمش ساده، در حالتی که ارتفاع بلوک تنش معادل بیشتر از ضخامت بال است.**

برای یک تیر T شکل تحت اثر لنگر خمشی M_u ، میزان آرماتورهای کششی لازم را محاسبه کنید.

مشخصات :

$M_u = 825$ KN.m

$f_c = 20$ MPa

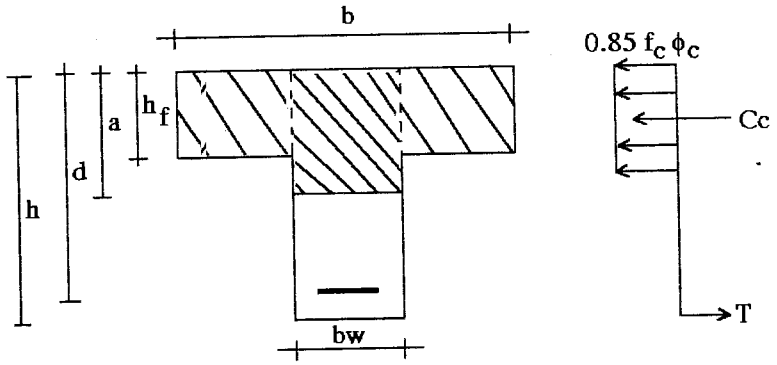
$f_y = 400$ MPa

$b = 180$ cm

$b_w = 75$ cm

$d = 40$ cm

$h_f = 10$ cm



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف) با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول)	
	$R = \frac{825}{1000 \times 0.75 \times 0.4^2} = 2.865$ Mpa	برای مستطیل بزرگ مقدار R محاسبه می‌شود. $R = \frac{M_u}{bd^2}$	فصل ۱۱
		گام دوم)	
	$\rho = \frac{0.85 \times 0.6 \times 20}{0.85 \times 400} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2.865}{0.85 \times 0.6 \times 20}}\right]$ $\rho = 0.01$ $A_s = 0.01 \times 180 \times 40 = 72\ cm^2$	ρ و A_s محاسبه می‌شوند. $= \frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R}{0.85 \times \phi_c \times f_c}}\right]$ $A_s = \rho.b.d$	
		گام سوم)	
	$a = \frac{72 \times 0.85 \times 400}{0.85 \times 0.6 \times 20 \times 180} = 13.3cm > h_f$	a محاسبه شده و با h_f مقایسه می‌گردد. $a = \frac{A_s.\phi_s.f_y}{0.85\phi_c f_c b}$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		تذکر ۱ : چـون مقـدار a بیشـتر از ضـخامت دال است، باید مقطع T شکل را وارد محاسبات نمود. **تـــذکر ۲:** در ابتـــدای مســـئله مـــی‌تـــوان $\overline{M} = 0.85\phi_c f_c b.h_f (d - \frac{h_f}{2})$ را محاسبه نمود. و بـا M_u مقایسـه کـرد. اگـر $M_u > \overline{M}$ باشد، باید وارد محاسبات تیر T شکل گردید.	
	$C_f = [0.85 \times 0.6 \times 20(1.8 - 0.75) \times 0.1] \times 1000$ $C_f = 1071$ KN $A_{sf} = \left[\frac{1071 \times 10^{-3}}{0.85 \times 400}\right] \times 10^4 = 31.5 \quad cm^2$ $M_{uf} = 1.071 \times (0.4 - 0.5 \times 0.1) \times 10^3$ $M_{uf} = 374.85$ KN.m	**گام چهارم)** محاسبه A_{sf} و M_{uf} مقاومت فشاری بال برابر است با: $C_f = 0.85\phi_c f_c (b - b_w) h_f$ فولاد مورد نیاز A_{sf} بـرای موازنـه بـا نیـروی C_f برابر است با: $A_{sf} = \frac{C_f}{\phi_s f_y}$ و لنگر مقاوم بال برابر است با : $M_{uf} = A_{sf}.\phi_s.f_y (d - 0.5h_f)$	
	$M_{uw} = 825\text{-}374.85 = 450.15$ KN.m	**گام پنجم)** محاسبه M_{uw} و A_{sw} $M_{uw} = M_u - M_{uf}$	

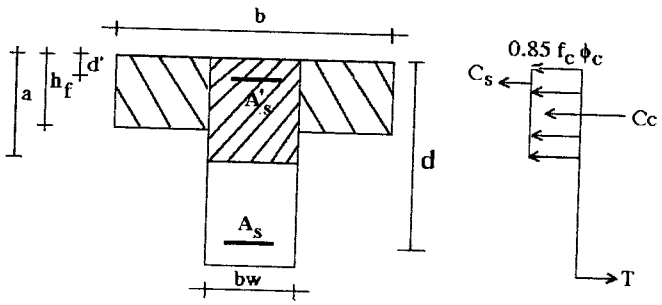
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$R_w = \frac{450.15}{1000 \times 0.75 \times 0.4^2}$	$R_w = \frac{M_{uw}}{b_w d^2}$	
	$\rho_w = \frac{0.85 \times 0.6 \times 20}{0.85 \times 400} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3.75}{0.85 \times 0.6 \times 20}}\right]$	$\rho_w = \frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_w}{0.85 \times \phi_c \times f_c}}\right]$	
	$\rho_w = 0.0146$	اگر $\rho_w < \rho_b$ باشد نیازی به آرماتور فشاری نیست.	
	$\rho_b 0.85 \times 0.85 \times \frac{0.6 \times 20}{0.85 \times 400} \times \frac{600}{600 + 400}$	$\rho_b = 0.85 k_1 \frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \frac{611.7}{611.7 + f_y}$	
	$\rho_b = 0.0153 > \rho_w$ پس نیازی به آرماتور فشاری نیست.		
	$A_{sw} = 0.0146 \times 75 \times 40 = 43.8 \ cm^2$	$A_{sw} = \rho_w b_w .d$	
	$A_s = 31.5 + 43.8 = 75.3 \ cm^2$	**گام ششم)** محاسبه کل فولاد لازم برای تحمل لنگر Mu $A_s = A_{sf} + A_{sw}$	
	$a_w = \frac{43.8 \times 0.85 \times 400}{0.85 \times 0.6 \times 20 \times 75} = 19.47$	**گام هفتم)** کنترل محاسبات $a_w = \frac{A_{sw}\phi_s f_y}{0.85\phi_c f_c b_w}$	
	$M_u = \left[43.8 \times 10^{-4} \times 0.85 \times 400 \times (0.4 \frac{0.1947}{2})\right] + 31.5 10^{-4} \times 0.85 \times 400 \times (0.4 \frac{0.1}{2}) \times 10^3 = 825.5 \approx 825$ KN.m OK.	$M_u = A_{sw}\phi_s f_y (d \frac{a_w}{2}) + A_{sf}\phi_s f_y (d - \frac{h_f}{2})$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام هشتم) کنترل حداکثر مقدار مجاز آرماتور کششی $\rho_{max} = \rho_b + \rho_f$ $\rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w d}$ $\rho = \frac{A_s}{b_w d}$	۱-۵-۱۱
	$\rho_{max} = 0.0153 + \frac{31.5}{75 \times 40}$ $\rho_{max} = 0.0258$ $\rho = \frac{75.3}{75 \times 40} = 0.0251 < \rho_{max}$ O.K.		
		ب: با استفاده از جداول «خمش ۲و۳» **گام اول)** محاسبه F با توجه به مستطیل بزرگ $F = \frac{b.d^2}{1000}$	فصل ۱۱
	$F = \frac{180 \times 40^2}{1000} = 288$		
		گام دوم) محاسبه K $K = \frac{M_u}{F}$	
	$K = \frac{825}{288} = 2.86$		
خمش ۲-۱	برای $fy = 400$ MPa , $fc = 20$ MPa و k =2.86 داریم : $\rho = 0.0102, \frac{a}{d} = 0.342$	**گام سوم)** محاسبه ρ و $\frac{a}{d}$	
	$\frac{h_f}{d} = \frac{10}{40} = 0.25 > \frac{a}{d}$ پس باید وارد محاسبات تیر T شکل باشد.	**گام چهارم)** محاسبه $\frac{h_f}{d}$ و مقایسه آن با $\frac{a}{d}$	
خمش ۳-۵	$\frac{b}{b_w} = \frac{180}{75} = 2.4$ برای $fc = 20$ MPa و $\frac{b}{b_w} = 2.4$ داریم : $K_f = 14.28$	**گام پنجم)** تعیین k_f برای $\frac{b}{b_w}$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
خمش ۳-۱	برای f_c= 20 MPa و f_y=400MPa و $\frac{h_f}{d} = 0.25$ داریم : $J_f = 0.875$, $a_{nf} = 297.5$	**گام ششم)** محاسبه J_f و a_{nf}	
	$A_{sf} = \frac{14.28 \times 0.875 \times 75 \times 10}{297.5} = 31.5$ cm	**گام هفتم)** محاسبه A_{sf} $A_{sf} = \frac{k_f . J_f . b_w . h_f}{a_{nf}}$	
	$M_{uf} = 31.5 \times 297.5 \times 40 \times 10^{-3}$ $M_{uf} = 374.85$ KN.m	**گام هشتم)** محاسبه M_{uf} $M_{uf} = A_{sf} . a_{nf} . d \times 10^{-3}$	
	$M_{uw} = 825\text{-}374.85 = 450.15$ KN.m	**گام نهم)** محاسبه M_{uw} $M_{uw} = M_u - M_{uf}$	
	$F = \frac{75 \times 40^2}{1000} = 120$	**گام دهم)** محاسبه F برای جان $F = \frac{b_w . d^2}{1000}$	
	$K = \frac{450.15}{120} = 3.75$	**گام یازدهم)** محاسبه K برای جان $K = \frac{M_{uw}}{F}$	
	برای f_c = 20 MPa , f_y = 400 MPa و k =3.75 داریم : $\rho = 0.0146 < \rho_b$ O.K.	**گام دوازدهم)** تعیین ρ	
	$A_{sw} = 0.0146 \times 75 \times 40 = 43.8$ cm^2	**گام سیزدهم)** تعیین A_{sw} $A_{sw} = \rho\, b_w .d$	
	$A_s = 43.8 + 31.5 = 75.36$ cm^2	**گام چهاردهم)** تعیین A_s $A_s = A_{sw} + A_{sf}$ **تذکر:** سایر گام‌ها همانند قسمت الف می‌باشد.	

مثال ۱۰ **تعیین آرماتور کششی و فشاری لازم برای تیر T شکل تحت اثر خمش ساده، در حالتی که ارتفـاع بلـوک تـنش معادل بیشتر از ضخامت بال است و فولاد فشاری جاری نمی‌شود.**

مثال ۹ را با این فرض که تیر تحت اثر لنگر خمشی M_u= 1200 KN.m قرار دارد و f_c=25 MPa و d'=9 cm حل کنید.



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی **گام اول)** محاسبه لنگر مقاوم تیر در حالتیکه $a = h_f$ بوده و فولاد فشاری وجود ندارد. $\overline{M} = 0.85\phi_c f_c b.h_f (d - \frac{h_f}{2})$	فصل ۱۱
	$\overline{M} = 0.85\times0.6\times20\times1.8\times0.1(0.4\times\frac{0.1}{2})\times10^3$ $\overline{M} = 642.6$ KN.m		
	M_u= 1200 KN.m > $\overline{M}$	**گام دوم)** مقایسه $M_u, \overline{M}$ در صورتی که $M_u > \overline{M}$ باشد، می‌توان نتیجه گرفت که $a>h_f$ است و محاسبات تیر T الزامیست.	
	$M_{uw} = 1200-468.6 = 731.4$ KN.m $R_w = \frac{731.4}{1000\times0.75\times0.4^2} = 6.1$ MPa $\rho_w = \frac{0.85\times0.6\times25}{0.85\times400}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times6.1}{0.85\times0.6\times25}}\right]$	**گام سوم)** محاسبه M_{uf} و A_{sf} $M_{uw}= M_u - M_{uf}$ $R_w = \frac{M_{uw}}{b_w d^2}$ $\rho_w = \frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2R_w}{0.85\times\phi_c\times f_c}}\right]$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$\rho_w = 0.03$ برای $f_y = 400\ MPa$, $f_c = 25MPa$ داریم : $\rightarrow \rho_b = 0.019 < \rho_w$	اگر $\rho_b<\rho_w$ باید از آرماتور فشاری استفاده کرد.	
	$\rho_{max} = 0.019$ $A_{sw1} = 0.019\times75\times40=57\ cm^2$ $a = \frac{0.85\times57\times400}{0.85\times0.6\times25\times75} = 20.27\ cm$ $M_{uw1} = 0.85\times57\times10^{-4}\times400(0.4-\frac{0.2027}{2})\times10^3$ $M_{uw1} = 578.8KN.m$ $M_{uw2} = 731.4-578.8 = 152.6\ KN.m$	**گام پنجم)** تعیین مقاومت جان هنگام استفاده از ρ_{max} و بدون آرماتور فشاری (M_{uw1}) $\rho_{max} = \rho_b$ $A_{sw1} = \rho_{max}\ b_w\ d$ $a = \frac{\phi_s A_{sw1} f_y}{0.85\phi_c . f_c . b_w}$ $M_{uw1} = \phi_s A_{sw1} f_y (d-\frac{a}{2})$ $M_{uw2} = M_{uw} - M_{uw1}$	
	$A_{sw2} = \frac{152.6\times10^{-3}}{0.85\times400(0.4-0.09)}\times10^4$ $A_{sw2} = 14.5\ cm^2$ $A_{sw} = 57+14.5 = 71.5\ cm^2$ $A_s = 71.5+39.4 = 110.9\ cm$	**گام ششم)** محاسبه A_{sw2} و A_{sw} و A_s $A_{sw2} = \frac{M_{uw2}}{\phi_s f_y (d-d')}$ $A_{sw} = A_{sw1} + A_{sw2}$ $A_s = A_{sw} + A_{sf}$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام هفتم) محاسبه سطح مقطع فولاد فشاری A'_s $(\rho-\rho')_{min}=0.85\beta_1\frac{d'}{d}\frac{\phi_c f'_c}{\phi_s f_y}\frac{611.7}{611.7-f_y}$ $\rho-\rho'=\frac{A_{sw}}{b_w d}-\frac{A_{sw2}}{b_w d}$ اگر $(\rho-\rho_2) < (\rho-\rho')_{min}$ باشد فولاد فشاری جاری نمی‌شود.	
	$(\rho-\rho')_{min}=0.85\times0.85\times\frac{9}{40}\times\frac{0.6\times25}{0.85\times400}\times\frac{611.7}{611.7-400}=0.02$ $\rho-\rho_2=\frac{71.5}{75\times40}-\frac{14.5}{75\times40}$ $(\rho-\rho_2)=0.019 < (\rho-\rho')_{min}$ پس فولاد فشاری جاری نمی‌شود. $A_{sw1}=57\ cm^2$ $a_w=\frac{0.85\times57\times400}{0.85\times0.6\times25\times75}$ $a=20.27\ cm$	$a_w=\frac{\phi_s.A_{sw1}f_y}{0.85\phi_c f_c b_w}$ $x=\frac{a}{\beta_1}$ $\varepsilon_y=\frac{f_y}{E_s}$	۲-۵-۴
	$x=\frac{a}{0.85}=\frac{20.27}{0.85}=23.84$ $\varepsilon'_s=\frac{0.003}{23.84}\times14.84=0.00187$ $\varepsilon_y=\frac{400}{2\times10^5}=0.0020>\varepsilon'_s$ $A'_s=A_{sw2}\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon'_s}=145\times\frac{0.002}{0.00187}=15.5cm^2$		
		گام هشتم) آرماتورهای فشاری باید توسط خاموت و یا تنگ مهار شوند.	۲-۵-۸
		گام نهم) در صورتی که ارتفاع تیر کمتر از مقادیر پیشنهادی جدول (۱۴-۲-۴-۳) باشد و یا اعضاء غیر سازه‌ای حساس در برابر تغییر شکل را تحمل نماید، باید افت را کنترل نمود.	۱۴-۲-۱-۱-

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام دهم) کنترل محاسبات $M_u = A_{sw1}\phi_s f_y(d-\frac{a_w}{2}) + A_{sw2}\phi_s f_y (d-d') + A_{sf}\phi_s f_y(d-\frac{h_f}{2})$	
	$_u = [57\times10^{-4}\times0.85\times400(0.4-\frac{0.2027}{2}+14.5$ $0^{-4}\times0).85\times400(0.4-0.09)+39.4\times10^{-4}$ $).85\times400(0.4-\frac{0.1}{2})]\times10^3$ $_u = 1200.47 \approx 1200KN.m$ O.K.		
		گام یازدهم) کنترل حداکثر مقدار مجاز آرماتور $\rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w d}$ $\rho' = \frac{A_{sw2}}{b_w d}$ $\rho_{max} = \rho_b + \rho_f + \rho'$ $\rho = \frac{A_s}{b_w d}$	
	$\rho_b = 0.019$ $\rho_f = \frac{39.4}{75\times40} = 0.0131$ $\rho' = \frac{14.5}{75\times40} = 0.0048$ $\rho_{max} = 0.019+0.0131+0.0048 = 0.0369$ $\rho = \frac{110.9}{75\times40} = 0.0369$ O.K.		
		ب: با استفاده از جداول «خمش ۲و۳و۴» **گام اول)** محاسبه F با توجه به مستطیل بزرگ $F = \frac{b.d^2}{1000}$	
	$F = \frac{180\times40^2}{1000} = 288$		
		گام دوم) محاسبه K $K = \frac{M_u}{F}$	
	$K = \frac{1200}{288} = 4.17$		
		گام سوم) محاسبه ρ و $\frac{a}{d}$	
خمش ۲-۲	برای $f_c = 25$ MPa , $f_y = 400$ MPa و $k = 4.17$ داریم : $\rho = 0.0154, \frac{a}{d} = 0.413$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$\frac{h_f}{d}=\frac{10}{40}=0.25<\frac{a}{d}$ پس باید وارد محاسبات تیر T شکل باشد.	**گام چهارم)** محاسبه $\frac{h_f}{d}$ و مقایسه آن با $\frac{a}{d}$	
خمش ۳-۵	$\frac{b}{b_w}=\frac{180}{75}=2.4$ برای $fc=25\ MPa$ و $\frac{b}{b_w}=2.4$ داریم : $K_f=17.85$	**گام پنجم)** تعیین k_f برای $\frac{b}{b_w}$	
	برای $fy=400\ MPa, fc=25\ MPa$ و $\frac{h_f}{d}=0.25$ داریم : $J_f=0.875, a_{nf}=297.5$	**گام ششم)** تعیین J_f و a_{nf}	
	$A_{sf}=\frac{17.85\times0.875\times75\times10}{297.5}$ $A_{sf}=39.4\ cm^2$	**گام هفتم)** محاسبه A_{sf} $A_{sf}=\frac{K_f.J_f.b_w.h_f}{a_{nf}}$	
	$M_{uf}=39.4\times297.5\times40\times10^{-3}$ $M_{uf}=468.9\ KN.m$	**گام هشتم)** محاسبه M_{uf} $M_{uf}=A_{sf}.a_{nf}.d\times10^{-3}$	
	$M_{uw}=1200-468.9=731.1\ KN.m$	**گام نهم)** محاسبه M_{uw} $M_{uw}=M_u-M_{uf}$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
خمش ۲-۲	برای و f_c=25MPa و f_y=400MPa داریم:	**گام دهم)**	
	$\rho_{max} = 0.019$, K= 4.8117	محاسبه M_{uw1} و M_{uw2} و A_{sw1}	
	$a_n = 253.64, \frac{x}{d} = 0.597$	$F = \frac{b_w . d^2}{1000}$	
	$F = \frac{75 \times 40^2}{1000} = 120$	$M_{uw1} = K.F$	
	$M_{uw1} = 4.8117 \times 120 = 577.4$ KN.m	$M_{uw2} = M_{uw} - M_{uw1}$	
	$M_{uw2} = 731.1 - 577.4 = 153.7$ KN.m	$A_{sw1} = \rho_{max}\, b_w\, d$	
	$A_{sw1} = 0.019 \times 75 \times 40 = 57$ cm^2		
خمش ۲-۲	برای $\frac{d'}{d} = \frac{9}{40} = 0.225$ و $f_y = 400MPa$,f_c=25MPa داریم :	**گام یازدهم)**	
	$a_n = 263.5$	محاسبه A_{sw2} و A_{sw} و A_s	
	$A_{sw2} = \frac{153.7}{263.5 \times 40} \times 1000 = 14.58$ cm^2	$A_{sw2} = \frac{M_{uw2}}{a'_n . d} \times 1000$	
	$A_{sw2} = 14.5$ cm^2		
	$A_{sw} = 57 + 14.58 = 71.58$ cm^2	$A_{sw} = A_{sw1} + A_{sw2}$	
	$A_s = 71.58 + 39.4 = 110.98$ cm^2	$A_s = A_{sw} + A_{sf}$	
خمش ۴	برای $\frac{x}{d} = 0.597$ و $\frac{d'}{d} = 0.225$ داریم:	**گام دوازدهم)**	
	$a''_n = 246.3 < a'_n$	محاسبه A'_s	
	$A''_s = \frac{153.7}{246.3 \times 40} \times 1000 = 15.6$ cm^2	در این مرحله a'_n و a''_n را مقایسه می‌کنیم، اگر $a''_n < a'_n$ باشد آرماتور فشاری جاری نشده است و برای محاسبه A'_s باید از a''_n استفاده نمود.	
		$A'_s = \frac{M_{uw2}}{a''_n . d} \times 1000$	۴-۱۱
		تذکر: سایر مراحل مانند قسمت الف است.	۳-۱۱

مثال ۱۱ محاسبه فولادهای فشاری و کششی لازم برای یک تیر مستطیل شکل و تحت اثر خمش ساده. آرماتورهای فشاری برای شکل‌پذیری و یا کنترل افت اضافه شده‌اند.

برای یک تیر مستطیل شکل تحت اثر لنگر خمشی M_u ، آرماتورهای خمشی لازم را با این شرط که $\rho-\rho' \le 0.5\rho_b$ باشد محاسبه نمائید. این شرط برای کنترل شکل‌پذیری و یا افت اضافه شده است. شکل‌پذیری برای بازپخش لنگر در نواحی ممان منفی (بند ۱۰-۳-۶ آیین‌نامه) و کنترل افت دراز مدت در صورت استفاده از فولاد فشاری (بند ۱۴-۲-۲-۳) مورد نظر می‌باشند.

: مشخصات

$M_u = 200$ KN.m

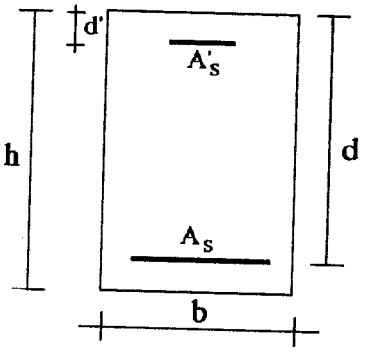
$f_c = 20$ MPa

$f_y = 400$ MPa

$b = 30$ cm

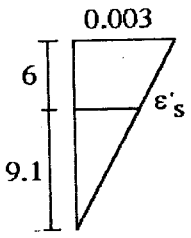
$d = 50$ cm

$d' = 6$ cm



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
خمش ۱		**الف: با استفاده از روش تحلیلی**	
	برای f_c=20MPa و f_y=400MPa داریم:	**گام اول)**	فصل ۱۱
	$\rho_b = 0.0153$	تعیین مقاومت مقطع با فرض اینکه $\rho=0.5\rho_b$ است و فولاد فشاری وجود ندارد.	
	$\rho = 0.5\times0.0153 \approx 0.0077$		
	$A_{s1} = 0.0077\times30\times50 = 11.55\ cm^2$	$A_{s1} = \rho\, b\, d$	
	$a = \dfrac{0.85\times11.55\times400}{0.85\times0.6\times20\times30} = 12.83$ cm	$a = \dfrac{\phi_s . A_{s1} f_y}{0.85\phi_c f_c b}$	
	$M_{u1} = 0.85\times11.55\times10^{-4}\times400(0.5-\dfrac{0.1283}{2})\times10^3$ $M_{u1} = 171.2$ KN.m	$M_{u1} = \phi_s A_{s1} f_y (d-\dfrac{a}{2})$	
		گام دوم) محاسبه M_{u2} و A_{s2} و A_s چون M_{u1} کمتر از M_u است، باید از آرماتور فشاری استفاده نمود	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$M_{u2} = 200\text{-}171.2 = 28.8\ KN.m$	$M_{u2} = M_u - M_{u1}$	
	$A_{s2} = \frac{28.8\times10^{-3}}{0.85\times400(0.5-0.06)}\times10^4$ $A_{s2} = 1.93\ cm^2$	$A_{s2} = \frac{M_{u2}}{\phi_s f_y (d-d')}$	
	$A_s = 11.55 + 1.93 = 13.48\ cm^2$	$A_s = A_{sw} + A_{sf}$	
		گام سوم) محاسبه سطح مقطع فولاد فشاری A'_s اگر $(\rho-\rho')_{min} \le (\rho-\rho_2)$ باشد فولاد فشاری جاری می‌شود.	
	$(\rho-\rho')_{min} = 0.85\times0.85\times\frac{6}{50}\times\frac{0.6\times20}{0.85\times400}$ $\frac{611.7}{611.7-400} = 0.0088$	$(\rho-\rho')_{min} = 0.85\beta_1\frac{d'}{d}\frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\frac{611.7}{611.7-f_y}$	
	$\rho-\rho_2 = \frac{11.55}{30\times50} = 0.0077 < (\rho-\rho')_{min}$ پس فولاد فشاری جاری نمی‌شود.	$\rho-\rho_2 = \frac{A_s}{bd} - \frac{A_{s2}}{bd} = \frac{A_{s1}}{bd}$	
	$a = \frac{0.85\times11.5\times400}{0.85\times0.6\times20\times30} = 12.83cm$ $x = \frac{12.83}{0.85} = 15.1cm$ $\varepsilon_y = \frac{400}{2\times10^5} = 0.002$ $\varepsilon'_s = \frac{0.003}{15.1}\times9.1 = 0.0018 < \varepsilon_y$	$a = \frac{\phi_s . A_{s1} . f_y}{0.85\phi_c f_c b}$ $x = \frac{a}{\beta_1}$ $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$	۲-۵-۴
	$A'_s = 1.93\times\frac{0.002}{0.0018} = 2.14\ \ cm^2$	$A'_s = A_{s2}\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon'_s}$	



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
خمش ۲-۱	$0.5\ \rho_b = 0.0077$ برای $f_c=20MPa$ و $f_y=400MPa$ و $\rho=0.0077$ داریم: $K = 2.2968, \frac{x}{d} = 0.305$ $F = \frac{30\times 50^2}{1000} = 75$ $M_{u1} = 2.2968\times 75 \approx 172 \quad KN.m$ $A_{s1} = 0.0077\times 30\times 50 = 11.55\ cm^2$	**ب: با استفاده از جداول «خمش ۲»** **گام اول)** تعیین مقاومت مقطع با فرض اینکه $\rho=0.5\rho_b$ است و فولاد فشاری وجود ندارد. $F = \frac{b.d^2}{1000}$ $M_{u1} = K.F$ $A_{s1} = \rho\ b\ d$	
	$M_{u2} = 200\text{-}172 = 28 \quad KN.m$	**گام دوم)** محاسبه M_{u2} $M_{u2} = M_u - M_{u1}$	
خمش ۳-۱ خمش ۴	$f_y = 400MPa, f_c=20MPa$ و برای $\frac{d'}{d} = \frac{6}{50} = 0.12$ $a'_n = 299.2$ داریم : $A_{s2} = \frac{28}{299.2\times 50}\times 1000 = 1.87\ cm^2$ برای $\frac{x}{d} = 0.305$ و $\frac{d'}{d} = 0.12$ داریم: $a''_n = 272$ $A'_s = \frac{28}{275\times 50}\times 1000 = 2.06\ cm^2$	**گام سوم)** محاسبه A_{s2} و A'_s $A_{s2} = \frac{M_{u2}}{a'_n.d}\times 1000$ $A'_s = \frac{M_{u2}}{a''_n.d}\times 1000$	
	$A_s = 11.55+1.87 = 13.42\ cm^2$	**گام چهارم)** محاسبه A_s $A_s = A_{s1} + A_{s2}$	

مثال ۱۲ **محاسبه آرماتور کششی لازم برای یک تیر مستطیل شکل و بدون آرماتور فشاری، که تحت اثر خمش و نیروی محوری کششی قرار دارد. تارهای فوقانی فشاری می‌باشند.**

برای یک مقطع مستطیل شکل تحت اثر لنگر خمشی M_u ، و نیروی کششی P_u ، سطح مقطع آرماتور کششی لازم را محاسبه کنید.

: مشخصات

$M_u = 110$ KN.m

$P_u = 200$ KN.m

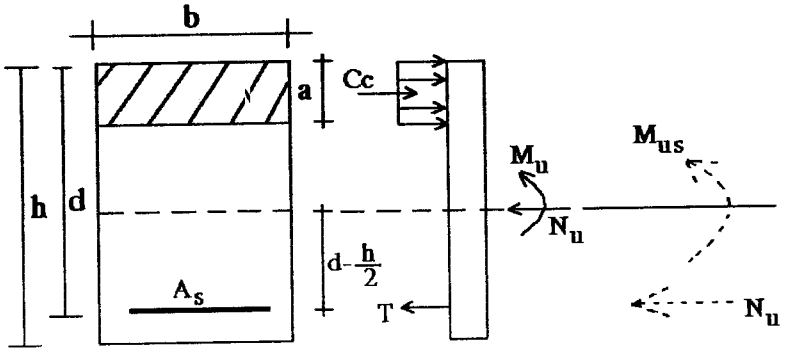
$f_c = 30$ MPa

$f_y = 400$ MPa

$b = 25$ cm

$d = 45$ cm

$h = 50$ cm



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$M_{us} = 110 - 200(0.45 - \frac{0.5}{2}) = 70$ KN.m	**الف: با استفاده از روش تحلیلی** **گام اول)** نیروی N_u را به محور آرماتورهای کششی منتقل کنید و برای اینکه از نظر استاتیکی در مسئله تغییری حاصل نشود،لنگر خمشی M_{us} را تعیین کرده و وارد محاسبات کنید. $M_{us} = M_u - N_u(d - \frac{h}{2})$ **تذکر:** در صورت منفی شدن M_{us} به مثال ۱۳ مراجعه شود.	
	$R = \frac{70}{1000 \times 0.25 \times 0.45^2} = 1.38$ MPa	**گام دوم)** R برای مقطع محاسبه می‌شود. $R = \frac{M_{us}}{bd^2}$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام سوم) ρ محاسبه می‌شود. $\rho_w = \frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\left[1-\sqrt{1-\frac{2R}{0.85\phi_c f_c}}\right]$	
	$\rho_w = \frac{0.85\times0.6\times30}{0.85\times400}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times1.38}{0.85\times0.6\times30}}\right]$ $\rho_w = 0.0043$		
		گام چهارم) A_s محاسبه می‌شود. $A_s = \rho.b.d + \frac{N_u}{\phi_s f_y}$ **تذکر ۱ :** اگر لنگر خمشی M_u نیاز به درصد آرماتور کششی بیش از ρ_b داشته باشد، باید از آرماتور فشاری استفاده نمود. در این موارد می‌توان به مثال ۶ مراجعه نمود. **تذکر ۲:** اگر مقدار مشخصی آرماتور فشاری در مقطع موجود باشد می‌توان آنرا نادیده گرفت و مراحل فوق را انجام داد و یا مانند مثال ۷ عمل نمود و آرماتور کششی لازم برای لنگر M_u را محاسبه کرد. **تذکر۳ :** برای آنالیز دقیق باید دیاگرام اثر متقابل لنگر و نیروی کششی تهیه شود و از آن استفاده گردد.	
	$A_s = 0.0043\times25\times45+\frac{200\times10^{-3}}{0.85\times400}\times10^4$ $A_s = 4.84+5.88 = 10.72\ cm^2$ $A_{Smin} = \frac{1.4}{400}\times25\times45 = 3.94cm^2 < A_s O.K.$		
		ب: با استفاده از جداول «خمش ۲» **گام اول)** محاسبه M_{us}	
	$M_{us} = 70\ KN.m$		
		گام دوم) محاسبه F $F = \frac{b.d^2}{1000}$	
	$F = \frac{25\times45^2}{1000} = 50.6$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$K=\frac{70}{50.6}=1.38$	**گام سوم)** محاسبه K $K=\frac{M_{us}}{F}$	
خمش ۲-۳	برای $f_c = 30\ MPa$, $f_y = 400\ MPa$ و $K=1.38$ داریم : $a_n = 324.02$	**گام چهارم)** مقدار a_n	
	$A_s=\frac{70}{45\times 324.02}\times 1000+\frac{200\times 10^3}{0.85\times 400}\times 10^4$ $A_s = 4.8+5.88=10.68\ cm^2 > A_{Smin}$ O.K.	**گام پنجم)** محاسبه A_s $A_s=\frac{M_{us}}{a_n.d}\times 1000+\frac{N_u}{\phi_s f_y}$	

مثال ۱۳ **محاسبه آرماتور کششی لازم برای یک تیر مستطیل شکل ، که تحت اثر خمش و نیروی محـوری کششـی قـرار دارد. تارفوقانی کششی می‌باشد.**

برای یک مقطع مستطیل شکل تحت اثر لنگر خمشی M_u ، و نیروی کششی P_u ، سطح مقطع آرماتور کششی لازم را محاسبه کنید.

: مشخصات

$M_u = 55$ KN.m

$N_u = 400$ KN.m

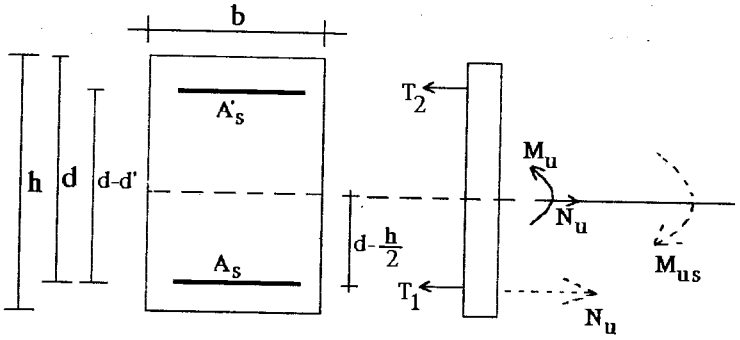
$f_y = 400$ MPa

$b = 25$ cm

$d = 45$ cm

$h = 50$ cm

$d-d' = 40$ cm



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$M_{us} = 55 - 400(0.45 - \frac{0.5}{2}) = -25$ KN.m	**الف: با استفاده از روش تحلیلی** **گام اول)** نیروی N_u را به محـور آرماتورهـای کششـی منتقل کنیدو لنگـر خمشـی M_{us} را محاسـبه کنید. $M_{us} = M_u - N_u(d - \frac{h}{2})$ **تذکر:** در صورت منفی شدن M_{us} بـه مثـال ۱۲ مراجعه شود.	
	$A'_s = \frac{25\times10^{-3}}{0.85\times400\times0.4}\times10^4 = 1.84 cm^2$	**گام دوم)** محاسبه A'_s $A'_s = \frac{M_{us}}{\phi_s f_y (d-d')}$	
	$A_s = \frac{400\times10^{-3}}{0.85\times400}\times10^4 - 1.84$ $A_s = 1.76\text{-}1.84 = 9.92$ cm^2	**گام سوم)** محاسبه A_s $A_s = \frac{N_u}{\phi_s f_y} - A'_s$	

خمش ۱) نسبت آرماتور و ضریب a_n برای طرح تقریبی و سریع تیرهای مستطیل شکل و بدون آرماتور فشاری

مراجع: بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۱-۳ و ۱۱-۴-۱ و ۱۱-۵-۱ و ۱۱-۵-۲-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

M_u و d و A_s به ترتیب بر حسب KN.m و cm و cm^2 می‌باشند.

$$A_s = \frac{M_u}{a_n d} \times 1000$$

$$a_n = \phi_s f_y (1 - \frac{a}{2d})$$

$$1 - \frac{a}{2d} = 0.84$$

$$a_n = 0.84 \phi_s f_y$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$\rho_{max} = 0.85\beta_1 \frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$

f_c(MPa)	۲۰ (β_1=0.85)	۲۵ (β_1=0.85)	۳۰ (β_1=0.85)	۳۵ (β_1=0.81)
fy = 220 MPa				
a_n	۱۵۷	۱۵۷	۱۵۷	۱۵۷
ρ_{min}	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۶۴
ρ مناسب	۰/۰۱۷۰	۰/۰۲۱۲	۰/۰۲۵۵	۰/۰۲۸۳
ρ_{max}	۰/۰۳۳۹	۰/۰۴۲۴	۰/۰۵۰۹	۰/۰۵۶۶
fy = 300 MPa				
a_n	۲۱۴	۲۱۴	۲۱۴	۲۱۴
ρ_{min}	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۴۷
ρ مناسب	۰/۰۱۱۴	۰/۰۱۴۲	۰/۰۱۷۰	۰/۰۱۸۹
ρ_{max}	۰/۰۲۲۷	۰/۰۲۸۳	۰/۰۳۴۰	۰/۰۳۷۸
fy = 400 MPa				
a_n	۲۸۶	۲۸۶	۲۸۶	۲۸۶
ρ_{min}	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۵
ρ مناسب	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۹۶	۰/۰۱۱۵	۰/۰۱۲۸
ρ_{max}	۰/۰۱۵۳	۰/۰۱۹۱	۰/۰۲۳۰	۰/۰۲۵۵

خمش ۲-۱) ضرایب لازم برای طرح تیرهای مستطیل شکل و بدون آرماتور فشاری، در حالت f_c= 20 Mpa

مراجع: بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۱-۳ و ۱۱-۴-۱ و ۱۱-۵-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

$M_u = K.F$ KN.m

$K = \phi_c \cdot f_c \cdot W \cdot J$

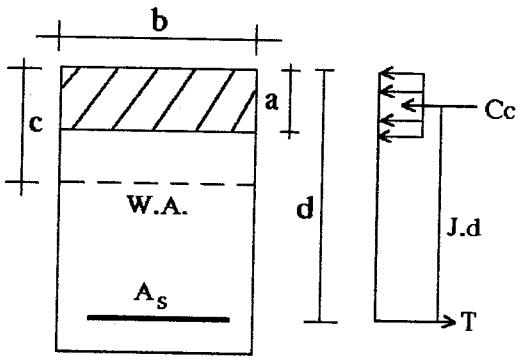
f_c بر حسب Mpa است.

$$W = \rho \frac{\phi_s f_y}{\phi_c f_c}$$

$F = \frac{bd^2}{1000}$ می‌باشد cm b و d بر حسب

همچنین $M_u = A_s \cdot d \cdot a_n \times 10^{-3}$

که $a_n = \phi_s \cdot f_c \cdot J$



A_s و d و M_u به ترتیب بر حسب cm^2 و cm و KN.m می‌باشند.

$\frac{x}{d} = 1.18(\frac{W}{\beta_1})$ $\quad \frac{a}{d} = \beta_1 \frac{x}{d}$ $\quad \beta_1 = 0.85$ $\quad J = 1 - \frac{a}{2d}$ $\quad J = 1\text{-}0.59W$

f_c = 20 MPa										
		f_y = 220MPa		f_y = 300 MPa		f_y = 400 MPa				
W	K	ρ*	a_n	ρ*	a_n	ρ*	a_n	$\frac{x}{d}$	$\frac{a}{d}$	J
۰/۰۲	۰/۲۳۷۱	۰/۰۰۱۳	۱۸۴/۷۵۶	۰/۰۰۰۹	۲۵۱/۹۴۰	۰/۰۰۰۷	۳۳۵/۹۲۰	۰/۰۲۸	۰/۰۲۴	۰/۹۸۸
۰/۰۳	۰/۳۵۳۵	۰/۰۰۱۹	۱۸۳/۶۳۴	۰/۰۰۱۴	۲۵۰/۴۱۰	۰/۰۰۱۱	۳۳۳/۸۸۰	۰/۰۴۲	۰/۰۳۵	۰/۹۸۲
۰/۰۴	۰/۴۶۸۵	۰/۰۰۲۶	۱۸۲/۵۱۲	۰/۰۰۱۹	۲۴۸/۸۸۰	۰/۰۰۱۴	۳۳۱/۸۴۰	۰/۰۵۶	۰/۰۴۷	۰/۹۷۶
۰/۰۵	۰/۵۸۲۶	۰/۰۰۳۲	۱۸۱/۵۷۷	۰/۰۰۲۴	۲۴۷/۶۰۵	۰/۰۰۱۸	۳۳۰/۱۴۰	۰/۰۶۹	۰/۰۵۹	۰/۹۷۱
۰/۰۶	۰/۶۹۴۸	۰/۰۰۳۹	۱۸۰/۴۵۵	۰/۰۰۲۸	۲۴۶/۰۷۵	۰/۰۰۲۱	۳۲۸/۱۰۰	۰/۰۸۳	۰/۰۷۱	۰/۹۶۵
۰/۰۷	۰/۸۰۵۶	۰/۰۰۴۵	۱۷۹/۳۳۳	۰/۰۰۳۳	۲۴۴/۵۴۵	۰/۰۰۲۵	۳۲۶/۰۶۰	۰/۰۹۷	۰/۰۸۳	۰/۹۵۹
۰/۰۸	۰/۹۱۴۹	۰/۰۰۵۱	۱۷۸/۲۱۱	۰/۰۰۳۸	۲۴۳/۰۱۵	۰/۰۰۲۸	۳۲۴/۰۲۰	۰/۱۱۱	۰/۰۹۴	۰/۹۵۳
۰/۰۹	۱/۰۲۲۸	۰/۰۰۵۸	۱۷۷/۰۸۹	۰/۰۰۴۲	۲۴۱/۴۸۵	۰/۰۰۳۲	۳۲۱/۹۸۰	۰/۱۲۵	۰/۱۰۶	۰/۹۴۷
۰/۱۰	۱/۱۲۹۲	۰/۰۰۶۴	۱۷۵/۹۶۷	۰/۰۰۴۷	۲۳۹/۹۵۵	۰/۰۰۳۵	۳۱۹/۹۴۰	۰/۱۳۹	۰/۱۱۸	۰/۹۴۱
۰/۱۱	۱/۲۳۴۲	۰/۰۰۷۱	۱۷۴/۸۴۵	۰/۰۰۵۲	۲۳۸/۴۲۵	۰/۰۰۳۹	۳۱۷/۹۰۰	۰/۱۵۳	۰/۱۳۰	۰/۹۳۵
۰/۱۲	۱/۳۳۷۸	۰/۰۰۷۷	۱۷۳/۷۲۳	۰/۰۰۵۷	۲۳۶/۸۹۵	۰/۰۰۴۲	۳۱۵/۸۶۰	۰/۱۶۷	۰/۱۴۲	۰/۹۲۹
۰/۱۳	۱/۴۳۹۹	۰/۰۰۸۳	۱۷۲/۶۰۱	۰/۰۰۶۱	۲۳۵/۳۶۵	۰/۰۰۴۶	۳۱۳/۸۲۰	۰/۱۸۰	۰/۱۵۳	۰/۹۲۳
۰/۱۴	۱/۵۴۰۶	۰/۰۰۹۰	۱۷۱/۴۷۹	۰/۰۰۶۶	۲۳۳/۸۳۵	۰/۰۰۴۹	۳۱۱/۷۸۰	۰/۱۹۴	۰/۱۶۵	۰/۹۱۷
۰/۱۵	۱/۶۴۱۶	۰/۰۰۹۶	۱۷۰/۵۴۴	۰/۰۰۷۱	۲۳۲/۵۶۰	۰/۰۰۵۳	۳۱۰/۰۸۰	۰/۲۰۸	۰/۱۷۷	۰/۹۱۲
۰/۱۶	۱/۷۳۹۵	۰/۰۱۰۳	۱۶۹/۴۲۲	۰/۰۰۷۵	۲۳۱/۰۳۰	۰/۰۰۵۶	۳۰۸/۰۴۰	۰/۲۲۲	۰/۱۸۹	۰/۹۰۶
۰/۱۷	۱/۸۳۶۰	۰/۰۱۰۹	۱۶۸/۳۰۰	۰/۰۰۸۰	۲۲۹/۵۰۰	۰/۰۰۶۰	۳۰۶/۰۰۰	۰/۲۳۶	۰/۲۰۱	۰/۹۰۰
۰/۱۸	۱/۹۳۱۰	۰/۱۱۵۶	۱۶۷/۱۷۸	۰/۰۰۸۵	۲۲۷/۹۷۰	۰/۰۰۶۴	۳۰۳/۹۶۰	۰/۲۵۰	۰/۲۱۲	۰/۸۹۴

$f_c = 20$ MPa

W	K	f_y = 220MPa		f_y = 300 MPa		f_y = 400 MPa			
		ρ*	a_n	ρ*	a_n	ρ*	a_n	$\frac{x}{d}$	$\frac{a}{d}$	J
۰/۱۹	۲/۰۲۴۶	۰/۰۱۲۲	۱۶۶/۰۵۶	۰/۰۰۸۹	۲۲۶/۴۴۰	۰/۰۰۶۷	۳۰۱/۹۲۰	۰/۲۶۴	۰/۲۲۴	۰/۸۸۸
۰/۲۰	۲/۱۱۶۷	۰/۰۱۲۸	۱۶۴/۹۳۴	۰/۰۰۹۴	۲۲۴/۹۱۰	۰/۰۰۷۱	۲۹۹/۸۸۰	۰/۲۷۸	۰/۲۳۶	۰/۸۸۲
۰/۲۱	۲/۲۰۷۵	۰/۰۱۳۵	۱۶۳/۸۱۲	۰/۰۰۹۹	۲۲۳/۳۸۰	۰/۰۰۷۴	۲۹۷/۸۴۰	۰/۲۹۲	۰/۲۴۸	۰/۸۷۶
۰/۲۲	۲/۲۹۶۸	۰/۰۱۴۱	۱۶۲/۶۹۰	۰/۰۱۰۴	۲۲۱/۷۵۰	۰/۰۰۷۸	۲۹۵/۸۰۰	۰/۳۰۵	۰/۲۶۰	۰/۸۷۰
۰/۲۳	۲/۳۸۴۶	۰/۰۱۴۸	۱۶۱/۵۶۸	۰/۰۱۰۸	۲۲۰/۳۲۰	۰/۰۰۸۱	۲۹۳/۷۶۰	۰/۳۱۹	۰/۲۷۱	۰/۸۶۴
۰/۲۴	۲/۲۷۱۰	۰/۰۱۵۴	۱۶۰/۴۴۸	۰/۰۱۱۳	۲۱۸/۷۹۰	۰/۰۰۸۵	۲۹۱/۷۲۰	۰/۳۳۳	۰/۲۸۳	۰/۸۵۸
۰/۲۵	۲/۵۵۹۰	۰/۰۱۶۱	۱۵۹/۵۱۱	۰/۰۱۱۸	۲۱۷/۵۱۵	۰/۰۰۸۸	۲۹۰/۰۲۰	۰/۳۴۷	۰/۲۹۵	۰/۸۵۳
۰/۲۶	۲/۶۴۲۶	۰/۰۱۶۷	۱۵۸/۲۸۹	۰/۰۱۲۲	۲۱۵/۹۸۵	۰/۰۰۹۲	۲۸۷/۹۸۰	۰/۳۶۱	۰/۳۰۷	۰/۸۴۷
۰/۲۷	۲/۷۲۴۸	۰/۰۱۷۳	۱۵۷/۲۶۷	۰/۰۱۲۷	۲۱۴/۴۵۵	۰/۰۰۹۵	۲۸۵/۹۴۰	۰/۳۷۵	۰/۳۱۹	۰/۸۴۱
۰/۲۸	۲/۸۰۵۶	۰/۰۱۸۰	۱۵۶/۱۴۵	۰/۰۱۳۲	۲۱۲/۹۲۵	۰/۰۰۹۹	۲۸۳/۹۰۰	۰/۳۸۹	۰/۳۳۰	۰/۸۳۵
۰/۲۹	۲/۸۸۴۹	۰/۰۱۸۶	۱۵۵/۰۲۳	۰/۰۱۳۷	۲۱۱/۳۹۵	۰/۰۱۰۲	۲۸۱/۸۶۰	۰/۴۰۳	۰/۳۴۲	۰/۸۲۹
۰/۳۰	۲/۹۶۲۸	۰/۰۱۹۳	۱۵۳/۹۰۱	۰/۰۱۴۱	۱۰۹/۸۶۸	۰/۰۱۰۶	۲۷۹/۸۲۰	۰/۴۱۶	۰/۳۵۴	۰/۸۲۳
۰/۳۱	۳/۰۳۹۲	۰/۰۱۹۹	۱۵۲/۷۷۹	۰/۰۱۴۶	۲۰۸/۳۳۵	۰/۰۱۰۹	۲۷۷/۷۸۰	۰/۴۳۰	۰/۳۳۶	۰/۸۱۷
۰/۳۲	۳/۱۱۴۲	۰/۰۲۰۵	۱۵۱/۶۵۷	۰/۰۱۵۱	۲۰۶/۸۰۵	۰/۰۱۱۳	۲۷۵/۷۴۰	۰/۴۴۴	۰/۳۷۸	۰/۸۱۱
۰/۳۳	۳/۱۱۷۸	۰/۰۲۱۲	۱۵۰/۵۳۵	۰/۰۱۵۵	۲۰۵/۲۷۵	۰/۰۱۱۶	۲۷۳/۷۰۰	۰/۴۵۸	۰/۳۸۹	۰/۸۰۵
۰/۳۴	۳/۲۵۹۹	۰/۰۲۱۸	۱۴۹/۴۱۳	۰/۰۱۶۰	۲۰۳/۷۴۵	۰/۰۱۲۰	۲۷۱/۶۶۰	۰/۴۷۲	۰/۴۰۱	۰/۷۹۹
۰/۳۵	۳/۳۳۴۸	۰/۰۲۲۵	۱۴۸/۴۷۸	۰/۰۱۶۵	۲۰۲/۴۷۰	۰/۰۱۲۴	۲۶۹/۹۶۰	۰/۴۸۶	۰/۴۱۳	۰/۷۹۴
۰/۳۶	۳/۴۰۴۲	۰/۰۲۳۱	۱۴۷/۳۵۶	۰/۰۱۶۹	۲۰۰/۹۴۰	۰/۰۱۲۷	۲۶۷/۹۲۰	۰/۵۰۰	۰/۴۲۵	۰/۷۸۸

$f_c = 20$ MPa										
		$f_y = 220$MPa		$f_y = 300$ MPa		$f_y = 400$ MPa				
W	K	ρ*	a_n	ρ*	a_n	ρ*	a_n	$\frac{x}{d}$	$\frac{a}{d}$	J
۰/۳۷	۳/۴۷۲۱	۰/۰۲۳۷	۱۴۶/۲۳۴	۰/۰۱۷۴	۱۹۹/۴۱۰	۰/۰۱۳۱	۲۶۵/۸۸۰	۰/۵۱۴	۰/۴۳۷	۰/۷۸۲
۰/۳۸	۳/۵۳۸۶	۰/۰۲۴۴	۱۴۵/۱۱۲	۰/۰۱۷۹	۱۹۷/۸۸۰	۰/۰۱۳۴	۲۶۳/۸۴۰	۰/۵۲۸	۰/۴۴۸	۰/۷۷۶
۰/۳۹	۳/۶۰۳۶	۰/۰۲۵۰	۱۴۳/۹۹۰	۰/۰۱۸۴	۱۹۶/۳۵۰	۰/۰۱۳۸	۲۶۱/۸۰۰	۰/۵۴۱	۰/۴۶۰	۰/۷۷۰
۰/۴۰	۳/۶۶۷۲	۰/۰۲۵۷	۱۴۲/۸۶۸	۰/۰۱۸۸	۱۹۴/۸۲۰	۰/۰۱۴۱	۲۵۹/۷۶۰	۰/۵۵۵	۰/۴۷۲	۰/۷۶۴
۰/۴۱	۳/۷۲۹۴	۰/۰۲۶۳	۱۴۱/۷۴۶	۰/۰۱۹۳	۱۹۳/۲۹۰	۰/۰۱۴۲	۲۵۷/۷۲۰	۰/۵۶۹	۰/۴۸۴	۰/۷۵۸
۰/۴۲	۳/۷۹۰۱	۰/۰۲۷۰	۱۴۰/۶۲۴	۰/۰۱۹۸	۱۹۱/۷۶۰	۰/۰۱۴۸	۲۵۵/۶۸۰	۰/۵۸۳	۰/۴۹۶	۰/۷۵۲
۰/۴۳	۳/۸۴۹۴	۰/۰۲۷۶	۱۳۹/۵۰۲	۰/۰۲۰۲	۱۹۰/۲۳۰	۰/۰۱۵۲	۲۵۳/۶۴۰	۰/۵۹۷	۰/۵۰۷	۰/۷۴۶
۰/۴۴	۳/۹۰۷۲	۰/۰۲۸۲	۱۳۸/۳۸۰	۰/۰۲۰۷	۱۸۸/۴۰۰			۰/۶۱۱	۰/۵۱۹	۰/۷۴۰
۰/۴۵	۳/۹۶۹۰	۰/۰۲۸۹	۱۳۷/۴۴۵	۰/۰۲۱۲	۱۸۷/۴۲۵			۰/۶۲۵	۰/۵۳۱	۰/۷۳۵
۰/۴۶	۴/۰۲۴۱	۰/۰۲۹۵	۱۳۶/۳۲۳	۰/۰۲۱۶	۱۸۵/۸۹۵			۰/۶۳۹	۰/۵۴۳	۰/۷۲۹
۰/۴۷	۴/۰۷۷۷	۰/۰۳۰۲	۱۳۵/۲۰۱	۰/۰۲۲۱	۱۸۴/۳۶۵			۰/۶۵۲	۰/۵۵۵	۰/۷۲۳
۰/۴۸	۴/۱۲۹۹	۰/۰۳۰۸	۱۳۴/۰۷۹	۰/۰۲۲۶	۱۸۲/۸۳۵			۰/۶۶۶	۰/۵۶۶	۰/۷۱۷
۰/۴۹	۴/۱۸۰۷	۰/۰۳۱۴	۱۳۲/۹۵۷					۰/۶۸۰	۰/۵۷۸	۰/۷۱۱
۰/۵۰	۴/۲۳۰۰	۰/۰۳۲۱	۱۳۱/۸۳۵					۰/۶۹۴	۰/۵۹۰	۰/۷۰۵
۰/۵۱	۴/۲۷۷۹	۰/۰۳۲۷	۱۳۰/۷۱۳					۰/۷۰۸	۰/۶۰۲	۰/۶۹۹
۰/۵۲	۴/۳۲۴۳	۰/۰۳۳۴	۱۲۹/۵۹۱					۰/۷۲۲	۰/۶۱۴	۰/۶۹۳
ρ_{max}		۰/۰۳۳۹		۰/۰۲۲۷		۰/۰۱۵۳				

* ρهای بالای خط نازک کمتر از ρ_{min} می‌باشند.

خمش ۲-۲) ضرایب لازم برای طرح تیرهای مستطیل شکل و بدون آرماتور فشاری، در حالت f_c= 25 Mpa

مراجع: بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۱-۳ و ۱۱-۴-۱ و ۱۱-۵-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

$M_u = K.F$ KN.m

$K= \phi_c . f_c . W. J$

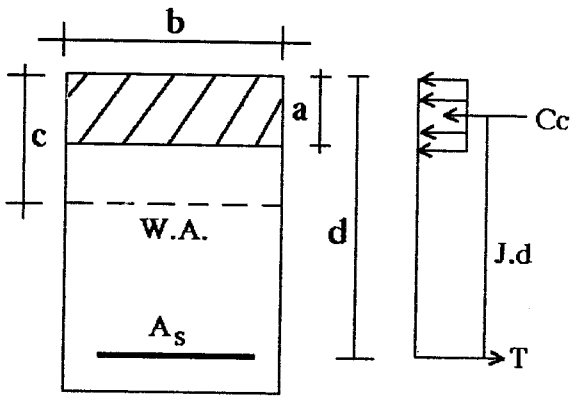
f_c بر حسب Mpa است.

$$W = \rho \frac{\phi_s f_y}{\phi_c f_c}$$

$$F = \frac{bd^2}{1000}$$ b و d بر حسب cm می‌باشد

همچنین $M_u = A_s . d. a_n . 10^{-3}$

که $a_n = \phi_s . f_c .J$



A_s و d و M_u به ترتیب بر حسب cm^2 و cm و KN.m می‌باشند.

$$\frac{x}{d} = 1.18(\frac{W}{\beta_1}) \qquad \frac{a}{d} = \beta_1 \frac{x}{d} \qquad \beta_1 = 0.85 \qquad J = 1 - \frac{a}{2d} \qquad J = 1\text{-}0.59W$$

$f_c = 25$ MPa										
		$f_y = 220$MPa		$f_y = 300$ MPa		$f_y = 400$ MPa				
W	K	ρ*	a_n	ρ*	a_n	ρ*	a_n	$\frac{x}{d}$	$\frac{a}{d}$	J
۰/۰۲	۰/۲۹۶۴	۰/۰۰۱۶	۱۸۴/۷۵۶	۰/۰۰۱۲	۲۵۱/۹۴۰	۰/۰۰۰۹	۳۳۵/۹۲۰	۰/۰۲۸	۰/۰۲۴	۰/۹۸۸
۰/۰۳	۰/۴۴۱۹	۰/۰۰۲۴	۱۸۳/۶۳۴	۰/۰۰۱۸	۲۵۰/۴۱۰	۰/۰۰۱۳	۳۳۳/۸۸۰	۰/۰۴۲	۰/۰۳۵	۰/۹۸۲
۰/۰۴	۰/۵۸۵۶	۰/۰۰۳۲	۱۸۲/۵۱۲	۰/۰۰۲۴	۲۴۸/۸۸۰	۰/۰۰۱۸	۳۳۱/۸۴۰	۰/۰۵۶	۰/۰۴۷	۰/۹۷۶
۰/۰۵	۰/۷۲۸۳	۰/۰۰۴۰	۱۸۱/۵۷۷	۰/۰۰۲۹	۲۴۷/۶۰۵	۰/۰۰۲۲	۳۳۰/۱۴۰	۰/۰۶۹	۰/۰۵۹	۰/۹۷۱
۰/۰۶	۰/۸۶۸۵	۰/۰۰۴۸	۱۸۰/۴۵۵	۰/۰۰۳۵	۲۴۶/۰۷۵	۰/۰۰۲۶	۳۲۸/۱۰۰	۰/۰۸۳	۰/۰۷۱	۰/۹۶۵
۰/۰۷	۱/۰۰۷۰	۰/۰۰۵۶	۱۷۹/۳۳۳	۰/۰۰۴۱	۲۴۴/۵۴۵	۰/۰۰۳۱	۳۲۶/۰۶۰	۰/۰۹۷	۰/۰۸۳	۰/۹۵۹
۰/۰۸	۱/۱۴۳۶	۰/۰۰۶۴	۱۷۸/۲۱۱	۰/۰۰۴۷	۲۴۳/۰۱۵	۰/۰۰۳۵	۳۲۴/۰۲۰	۰/۱۱۱	۰/۰۹۴	۰/۹۵۳
۰/۰۹	۱/۲۷۸۵	۰/۰۰۷۲	۱۷۷/۰۸۹	۰/۰۰۵۳	۲۴۱/۴۸۵	۰/۰۰۴۰	۳۲۱/۹۸۰	۰/۱۲۵	۰/۱۰۶	۰/۹۴۷
۰/۱۰	۱/۴۱۱۵	۰/۰۰۸۰	۱۷۵/۹۶۷	۰/۰۰۵۹	۲۳۹/۹۵۵	۰/۰۰۴۴	۳۱۹/۹۴۰	۰/۱۳۹	۰/۱۱۸	۰/۹۴۱
۰/۱۱	۱/۵۴۲۸	۰/۰۰۸۸	۱۷۴/۸۴۵	۰/۰۰۶۵	۲۳۸/۴۲۵	۰/۰۰۴۹	۳۱۷/۹۰۰	۰/۱۵۳	۰/۱۳۰	۰/۹۳۵
۰/۱۲	۱/۶۷۲۲	۰/۰۰۹۶	۱۷۳/۷۲۳	۰/۰۰۷۱	۲۳۶/۸۹۵	۰/۰۰۵۳	۳۱۵/۸۶۰	۰/۱۶۷	۰/۱۴۲	۰/۹۲۹
۰/۱۳	۱/۷۹۹۹	۰/۰۱۰۴	۱۷۲/۶۰۱	۰/۰۰۷۶	۲۳۵/۳۶۵	۰/۰۰۵۷	۳۱۳/۸۲۰	۰/۱۸۰	۰/۱۵۳	۰/۹۲۳
۰/۱۴	۱/۹۲۵۷	۰/۰۱۱۲	۱۷۱/۴۷۹	۰/۰۰۸۲	۲۳۳/۸۳۵	۰/۰۰۶۲	۳۱۱/۷۸۰	۰/۱۹۴	۰/۱۶۵	۰/۹۱۷
۰/۱۵	۲/۰۵۲۰	۰/۰۱۲۰	۱۷۰/۵۴۴	۰/۰۰۸۸	۲۳۲/۵۶۰	۰/۰۰۶۶	۳۱۰/۰۸۰	۰/۲۰۸	۰/۱۷۷	۰/۹۱۲
۰/۱۶	۲/۱۷۴۴	۰/۰۱۲۸	۱۶۹/۴۲۲	۰/۰۰۹۴	۲۳۱/۰۳۰	۰/۰۰۷۱	۳۰۸/۰۴۰	۰/۲۲۲	۰/۱۸۹	۰/۹۰۶
۰/۱۷	۲/۲۹۵۰	۰/۰۱۳۶	۱۶۸/۳۰۰	۰/۰۱۰۰	۲۲۹/۵۰۰	۰/۰۰۷۵	۳۰۶/۰۰۰	۰/۲۳۶	۰/۲۰۱	۰/۹۰۰
۰/۱۸	۲/۴۱۳۸	۰/۰۱۴۴	۱۶۷/۱۷۸	۰/۰۱۰۶	۲۲۷/۹۷۰	۰/۰۰۷۹	۳۰۳/۹۶۰	۰/۲۵۰	۰/۲۱۲	۰/۸۹۴

f_c = 25 MPa										
		f_y = 220MPa		f_y = 300 MPa		f_y = 400 MPa				
W	K	ρ*	a_n	ρ*	a_n	ρ*	a_n	$\frac{x}{d}$	$\frac{a}{d}$	J
۰/۱۹	۲/۵۳۰۸	۰/۰۱۵۲	۱۶۶/۰۵۶	۰/۰۱۱۲	۲۲۶/۴۴۰	۰/۰۰۸۴	۳۰۱/۹۲۰	۰/۲۶۴	۰/۲۲۴	۰/۸۸۸
۰/۲۰	۲/۶۴۶۰	۰/۰۱۶۰	۱۶۴/۹۳۴	۰/۰۱۱۸	۲۲۴/۹۱۰	۰/۰۰۸۸	۲۹۹/۸۸۰	۰/۲۷۸	۰/۲۳۶	۰/۸۸۲
۰/۲۱	۲/۷۵۹۴	۰/۰۱۶۸	۱۶۳/۸۱۲	۰/۰۱۲۳	۲۲۳/۳۸۰	۰/۰۰۹۳	۲۹۷/۸۴۰	۰/۲۹۲	۰/۲۴۸	۰/۸۷۶
۰/۲۲	۲/۸۷۱۰	۰/۰۱۷۶	۱۶۲/۶۹۰	۰/۰۱۲۹	۲۲۱/۷۵۰	۰/۰۰۹۷	۲۹۵/۸۰۰	۰/۳۰۵	۰/۲۶۰	۰/۸۷۰
۰/۲۳	۲/۹۸۰۸	۰/۰۱۸۴	۱۶۱/۵۶۸	۰/۰۱۳۵	۲۲۰/۳۲۰	۰/۰۱۰۱	۲۹۳/۷۶۰	۰/۳۱۹	۰/۲۷۱	۰/۸۶۴
۰/۲۴	۳/۰۸۸۸	۰/۰۱۹۲	۱۶۰/۴۴۸	۰/۰۱۴۱	۲۱۸/۷۹۰	۰/۰۱۰۶	۲۹۱/۷۲۰	۰/۳۳۳	۰/۲۸۳	۰/۸۵۸
۰/۲۵	۳/۱۹۸۸	۰/۰۲۰۱	۱۵۹/۵۱۱	۰/۰۱۴۷	۲۱۷/۵۱۵	۰/۰۱۱۰	۲۹۰/۰۲۰	۰/۳۴۷	۰/۲۹۵	۰/۸۵۳
۰/۲۶	۳/۳۰۳۳	۰/۰۲۰۹	۱۵۸/۲۸۹	۰/۰۱۵۳	۲۱۵/۹۸۵	۰/۰۱۱۵	۲۸۷/۹۸۰	۰/۳۶۱	۰/۳۰۷	۰/۸۴۷
۰/۲۷	۳/۴۰۶۱	۰/۰۲۱۷	۱۵۷/۲۶۷	۰/۰۱۵۹	۲۱۴/۴۵۵	۰/۰۱۱۹	۲۸۵/۹۴۰	۰/۳۷۵	۰/۳۱۹	۰/۸۴۱
۰/۲۸	۳/۵۰۷۰	۰/۰۲۲۵	۱۵۶/۱۴۵	۰/۰۱۶۵	۲۱۲/۹۲۵	۰/۰۱۲۳	۲۸۳/۹۰۰	۰/۳۸۹	۰/۳۳۰	۰/۸۳۵
۰/۲۹	۳/۶۰۶۲	۰/۰۲۳۳	۱۵۵/۰۲۳	۰/۰۱۷۱	۲۱۱/۳۹۵	۰/۰۱۲۸	۲۸۱/۸۶۰	۰/۴۰۳	۰/۳۴۲	۰/۸۲۹
۰/۳۰	۳/۷۰۳۵	۰/۰۲۴۱	۱۵۳/۹۰۱	۰/۰۱۷۶	۱۰۹/۸۶۸	۰/۰۱۳۲	۲۷۹/۸۲۰	۰/۴۱۶	۰/۳۵۴	۰/۸۲۳
۰/۳۱	۳/۷۹۹۱	۰/۰۲۴۹	۱۵۲/۷۷۹	۰/۰۱۸۲	۲۰۸/۳۳۵	۰/۰۱۳۷	۲۷۷/۷۸۰	۰/۴۳۰	۰/۳۳۶	۰/۸۱۷
۰/۳۲	۳/۸۱۲۸	۰/۰۲۵۷	۱۵۱/۶۵۷	۰/۰۱۸۸	۲۰۶/۸۰۵	۰/۰۱۴۱	۲۷۵/۷۴۰	۰/۴۴۴	۰/۳۷۸	۰/۸۱۱
۰/۳۳	۳/۹۸۴۸	۰/۰۲۶۵	۱۵۰/۵۳۵	۰/۰۱۹۴	۲۰۵/۲۷۵	۰/۰۱۴۶	۲۷۳/۷۰۰	۰/۴۵۸	۰/۳۸۹	۰/۸۰۵
۰/۳۴	۴/۰۷۴۹	۰/۰۲۷۳	۱۴۹/۴۱۳	۰/۰۲۰۰	۲۰۳/۷۴۵	۰/۰۱۵۰	۲۷۱/۶۶۰	۰/۴۷۲	۰/۴۰۱	۰/۷۹۹
۰/۳۵	۴/۱۶۸۵	۰/۰۲۸۱	۱۴۸/۴۷۸	۰/۰۲۰۱	۲۰۲/۴۷۰	۰/۰۱۵۴	۲۶۹/۹۶۰	۰/۴۸۶	۰/۴۱۳	۰/۷۹۴
۰/۳۶	۴/۲۵۵۲	۰/۰۲۸۹	۱۴۷/۳۵۶	۰/۰۲۱۲	۲۰۰/۹۴۰	۰/۰۱۵۹	۲۶۷/۹۲۰	۰/۵۰۰	۰/۴۲۵	۰/۷۸۸

f_c = 25 MPa										
		f_y = 220MPa		f_y = 300 MPa		f_y = 400 MPa				
W	K	ρ*	a_n	ρ*	a_n	ρ*	a_n	$\frac{x}{d}$	$\frac{a}{d}$	J
۰/۳۷	۴/۳۴۰۱	۰/۰۲۹۷	۱۴۶/۲۳۴	۰/۰۲۱۸	۱۹۹/۴۱۰	۰/۰۱۶۳	۲۶۵/۸۸۰	۰/۵۱۴	۰/۴۳۷	۰/۷۸۲
۰/۳۸	۴/۴۲۳۲	۰/۰۳۰۵	۱۴۵/۱۱۲	۰/۰۲۲۴	۱۹۷/۸۸۰	۰/۰۱۶۸	۲۶۳/۸۴۰	۰/۵۲۸	۰/۴۴۸	۰/۷۷۶
۰/۳۹	۴/۵۰۴۵	۰/۰۳۱۳	۱۴۳/۹۹۰	۰/۰۲۲۹	۱۹۶/۳۵۰	۰/۰۱۷۲	۲۶۱/۸۰۰	۰/۵۴۱	۰/۴۶۰	۰/۷۷۰
۰/۴۰	۴/۵۸۴۰	۰/۰۳۲۱	۱۴۲/۸۶۸	۰/۰۲۳۵	۱۹۴/۸۲۰	۰/۰۱۷۶	۲۵۹/۷۶۰	۰/۵۵۵	۰/۴۷۲	۰/۷۶۴
۰/۴۱	۴/۶۶۱۷	۰/۰۳۲۹	۱۴۱/۷۴۶	۰/۰۲۴۱	۱۹۳/۲۹۰	۰/۰۱۸۱	۲۵۷/۷۲۰	۰/۵۶۹	۰/۴۸۴	۰/۷۵۸
۰/۴۲	۴/۷۳۷۶	۰/۰۳۳۷	۱۴۰/۶۲۴	۰/۰۲۴۷	۱۹۱/۷۶۰	۰/۰۱۸۵	۲۵۵/۶۸۰	۰/۵۸۳	۰/۴۹۶	۰/۷۵۲
۰/۴۳	۴/۸۱۱۷	۰/۰۳۴۵	۱۳۹/۵۰۲	۰/۰۲۵۳	۱۹۰/۲۳۰	۰/۰۱۹۰	۲۵۳/۶۴۰	۰/۵۹۷	۰/۵۰۷	۰/۷۴۶
۰/۴۴	۴/۸۸۴۰	۰/۰۳۵۳	۱۳۸/۳۸۰	۰/۰۲۵۹	۱۸۸/۷۰۰			۰/۶۱۱	۰/۵۱۹	۰/۷۴۰
۰/۴۵	۴/۹۶۱۳	۰/۰۳۶۱	۱۳۷/۴۴۵	۰/۰۲۶۵	۱۸۷/۴۲۵			۰/۶۲۵	۰/۵۳۱	۰/۷۳۵
۰/۴۶	۵/۰۳۰۱	۰/۰۳۶۹	۱۳۶/۳۲۳	۰/۰۲۷۱	۱۸۵/۸۹۵			۰/۶۳۹	۰/۵۴۳	۰/۷۲۹
۰/۴۷	۵/۰۹۷۲	۰/۰۳۷۷	۱۳۵/۲۰۱	۰/۰۲۷۶	۱۸۴/۳۶۵			۰/۶۵۲	۰/۵۵۵	۰/۷۲۳
۰/۴۸	۵/۱۶۲۴	۰/۰۳۸۵	۱۳۴/۰۷۹	۰/۰۲۸۲	۱۸۲/۸۳۵			۰/۶۶۶	۰/۵۶۶	۰/۷۱۷
۰/۴۹	۵/۲۲۵۹	۰/۰۳۹۳	۱۳۲/۹۵۷					۰/۶۸۰	۰/۵۷۸	۰/۷۱۱
۰/۵۰	۵/۲۸۷۵	۰/۰۴۰۱	۱۳۱/۸۳۵					۰/۶۹۴	۰/۵۹۰	۰/۷۰۵
۰/۵۱	۵/۳۴۷۴	۰/۰۴۰۹	۱۳۰/۷۱۳					۰/۷۰۸	۰/۶۰۲	۰/۶۹۹
۰/۵۲	۵/۴۰۵۴	۰/۰۴۱۷	۱۲۹/۵۹۱					۰/۷۲۲	۰/۶۱۴	۰/۶۹۳
ρ_{max}		۰/۰۴۲۴		۰/۰۲۸۳		۰/۰۱۹۱				

* ρهای بالای خط نازک کمتر از ρ_{min} می‌باشند.

خمش ۲-۳) ضرایب لازم برای طرح تیرهای مستطیل شکل و بدون آرماتور فشاری، در حالت f_c= 30 Mpa

مراجع: بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۱-۳ و ۱۱-۴-۱ و ۱۱-۵-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

$M_u = K.F$ KN.m

$K= \phi_c . f_c . W. J$

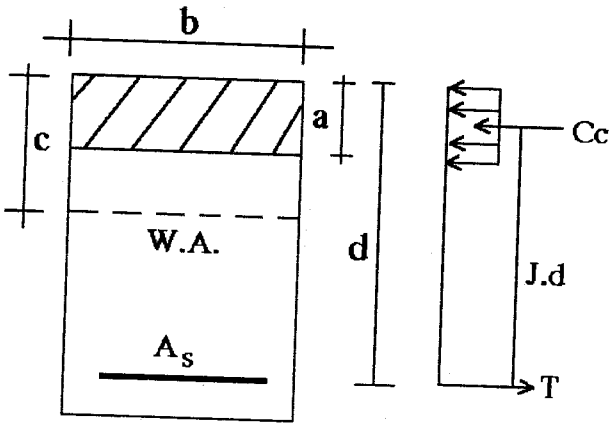
f_c بر حسب Mpa است.

$$W = \rho \frac{\phi_s f_y}{\phi_c f_c}$$

$$F = \frac{bd^2}{1000}$$ b و d بر حسب cm می‌باشد

همچنین $M_u = A_s . d. a_n . 10^{-3}$

که $a_n = \phi_s . f_c .J$



A_s و d و M_u به ترتیب بر حسب cm^2 و cm و KN.m می‌باشند.

$$\frac{x}{d} = 1.18(\frac{W}{\beta_1}) \qquad \frac{a}{d} = \beta_1 \frac{x}{d} \qquad \beta_1 = 0.85 \qquad J = 1 - \frac{a}{2d} \qquad J = 1\text{-}0.59W$$

$f_c = 30MPa$

W	K	$f_y = 220MPa$		$f_y = 300$ MPa		$f_y = 400$ MPa			
		ρ*	a_n	ρ*	a_n	ρ*	a_n	$\frac{x}{d}$	$\frac{a}{d}$	J
۰/۰۲	۰/۳۵۵۷	۰/۰۰۱۹	۱۸۴/۷۵۶	۰/۰۰۱۴	۲۵۱/۹۴۰	۰/۰۰۱۱	۳۳۵/۹۲۰	۰/۰۲۸	۰/۰۲۴	۰/۹۸۸
۰/۰۳	۰/۵۳۰۳	۰/۰۰۲۹	۱۸۳/۶۳۴	۰/۰۰۲۱	۲۵۰/۴۱۰	۰/۰۰۱۶	۳۳۳/۸۸۰	۰/۰۴۲	۰/۰۳۵	۰/۹۸۲
۰/۰۴	۰/۷۰۲۷	۰/۰۰۳۹	۱۸۲/۵۱۲	۰/۰۰۲۸	۲۴۸/۸۸۰	۰/۰۰۲۱	۳۳۱/۸۴۰	۰/۰۵۶	۰/۰۴۷	۰/۹۷۶
۰/۰۵	۰/۸۷۳۹	۰/۰۰۴۸	۱۸۱/۵۷۷	۰/۰۰۳۵	۲۴۷/۶۰۵	۰/۰۰۲۶	۳۳۰/۱۴۰	۰/۰۶۹	۰/۰۵۹	۰/۹۷۱
۰/۰۶	۱/۰۴۲۲	۰/۰۰۵۸	۱۸۰/۴۵۵	۰/۰۰۴۲	۲۴۶/۰۷۵	۰/۰۰۳۲	۳۲۸/۱۰۰	۰/۰۸۳	۰/۰۷۱	۰/۹۶۵
۰/۰۷	۱/۲۰۸۳	۰/۰۰۶۷	۱۷۹/۳۳۳	۰/۰۰۴۹	۲۴۴/۵۴۵	۰/۰۰۳۷	۳۲۶/۰۶۰	۰/۰۹۷	۰/۰۸۳	۰/۹۵۹
۰/۰۸	۱/۳۷۲۳	۰/۰۰۷۷	۱۷۸/۲۱۱	۰/۰۰۵۶	۲۴۳/۰۱۵	۰/۰۰۴۲	۳۲۴/۰۲۰	۰/۱۱۱	۰/۰۹۴	۰/۹۵۳
۰/۰۹	۱/۵۳۴۱	۰/۰۰۸۷	۱۷۷/۰۸۹	۰/۰۰۶۴	۲۴۱/۴۸۵	۰/۰۰۴۸	۳۲۱/۹۸۰	۰/۱۲۵	۰/۱۰۶	۰/۹۴۷
۰/۱۰	۱/۶۹۳۸	۰/۰۰۹۶	۱۷۵/۹۶۷	۰/۰۰۷۱	۲۳۹/۹۵۵	۰/۰۰۵۳	۳۱۹/۹۴۰	۰/۱۳۹	۰/۱۱۸	۰/۹۴۱
۰/۱۱	۱/۸۵۱۳	۰/۰۱۰۶	۱۷۴/۸۴۵	۰/۰۰۷۸	۲۳۸/۴۲۵	۰/۰۰۵۸	۳۱۷/۹۰۰	۰/۱۵۳	۰/۱۳۰	۰/۹۳۵
۰/۱۲	۲/۰۰۶۶	۰/۰۱۱۶	۱۷۳/۷۲۳	۰/۰۰۶۵	۲۳۶/۸۹۵	۰/۰۰۶۳	۳۱۵/۸۶۰	۰/۱۶۷	۰/۱۴۲	۰/۹۲۹
۰/۱۳	۲/۱۵۹۸	۰/۰۱۲۵	۱۷۲/۶۰۱	۰/۰۰۹۲	۲۳۵/۳۶۵	۰/۰۰۶۹	۳۱۳/۸۲۰	۰/۱۸۰	۰/۱۵۳	۰/۹۲۳
۰/۱۴	۲/۳۱۰۸	۰/۰۱۳۵	۱۷۱/۴۷۹	۰/۰۰۹۹	۲۳۳/۸۳۵	۰/۰۰۷۴	۳۱۱/۷۸۰	۰/۱۹۴	۰/۱۶۵	۰/۹۱۷
۰/۱۵	۲/۴۶۲۴	۰/۰۱۴۴	۱۷۰/۵۴۴	۰/۰۱۰۶	۲۳۲/۵۶۰	۰/۰۰۷۹	۳۱۰/۰۸۰	۰/۲۰۸	۰/۱۷۷	۰/۹۱۲
۰/۱۶	۲/۶۰۹۳	۰/۰۱۵۴	۱۶۹/۴۲۲	۰/۰۱۱۳	۲۳۱/۰۳۰	۰/۰۰۸۵	۳۰۸/۰۴۰	۰/۲۲۲	۰/۱۸۹	۰/۹۰۶
۰/۱۷	۲/۷۵۴۰	۰/۰۱۶۴	۱۶۸/۳۰۰	۰/۰۱۲۰	۲۲۹/۵۰۰	۰/۰۰۹۰	۳۰۶/۰۰۰	۰/۲۳۶	۰/۲۰۱	۰/۹۰۰
۰/۱۸	۲/۸۹۶۶	۰/۰۱۷۳	۱۶۷/۱۷۸	۰/۰۱۲۷	۲۲۷/۹۷۰	۰/۰۰۹۵	۳۰۳/۹۶۰	۰/۲۵۰	۰/۲۱۲	۰/۸۹۴

f_c =30MPa

W	K	f_y = 220MPa		f_y = 300 MPa		f_y = 400 MPa				
		ρ*	a_n	ρ*	a_n	ρ*	a_n	$\frac{x}{d}$	$\frac{a}{d}$	J
۰/۱۹	۳/۰۳۷۰	۰/۰۱۸۳	۱۶۶/۰۵۶	۰/۰۱۳۴	۲۲۶/۴۴۰	۰/۰۱۰۱	۳۰۱/۹۲۰	۰/۲۶۴	۰/۲۲۴	۰/۸۸۸
۰/۲۰	۳/۱۷۵۲	۰/۰۱۹۳	۱۶۴/۹۳۴	۰/۰۱۴۱	۲۲۴/۹۱۰	۰/۰۱۰۶	۲۹۹/۸۸۰	۰/۲۷۸	۰/۲۳۶	۰/۸۸۲
۰/۲۱	۳/۳۱۱۳	۰/۰۲۰۲	۱۶۳/۸۱۲	۰/۰۱۴۸	۲۲۳/۳۸۰	۰/۰۱۱۱	۲۹۷/۸۴۰	۰/۲۹۲	۰/۲۴۸	۰/۸۷۶
۰/۲۲	۳/۴۴۵۲	۰/۰۲۱۲	۱۶۲/۶۹۰	۰/۰۱۵۵	۲۲۱/۷۵۰	۰/۰۱۱۶	۲۹۵/۸۰۰	۰/۳۰۵	۰/۲۶۰	۰/۸۷۰
۰/۲۳	۳/۵۷۷۰	۰/۰۲۲۱	۱۶۱/۵۶۸	۰/۰۱۶۲	۲۲۰/۳۲۰	۰/۰۱۲۲	۲۹۳/۷۶۰	۰/۳۱۹	۰/۲۷۱	۰/۸۶۴
۰/۲۴	۳/۷۰۶۶	۰/۰۲۳۱	۱۶۰/۴۴۸	۰/۰۱۶۹	۲۱۸/۷۹۰	۰/۰۱۲۷	۲۹۱/۷۲۰	۰/۳۳۳	۰/۲۸۳	۰/۸۵۸
۰/۲۵	۳/۸۳۸۵	۰/۰۲۴۱	۱۵۹/۵۱۱	۰/۰۱۷۷	۲۱۷/۵۱۵	۰/۰۱۳۲	۲۹۰/۰۲۰	۰/۳۴۷	۰/۲۹۵	۰/۸۵۳
۰/۲۶	۳/۹۶۴۰	۰/۰۲۵۰	۱۵۸/۲۸۹	۰/۰۱۸۴	۲۱۵/۹۸۵	۰/۰۱۳۸	۲۸۷/۹۸۰	۰/۳۶۱	۰/۳۰۷	۰/۸۴۷
۰/۲۷	۴/۰۸۷۳	۰/۰۲۶۰	۱۵۷/۲۶۷	۰/۰۱۹۱	۲۱۴/۴۵۵	۰/۰۱۴۳	۲۸۵/۹۴۰	۰/۳۷۵	۰/۳۱۹	۰/۸۴۱
۰/۲۸	۴/۲۰۸۴	۰/۰۲۷۰	۱۵۶/۱۴۵	۰/۰۱۹۸	۲۱۲/۹۲۵	۰/۰۱۴۸	۲۸۳/۹۰۰	۰/۳۸۹	۰/۳۳۰	۰/۸۳۵
۰/۲۹	۴/۳۲۷۴	۰/۰۲۷۹	۱۵۵/۰۲۳	۰/۰۲۰۵	۲۱۱/۳۹۵	۰/۰۱۵۳	۲۸۱/۸۶۰	۰/۴۰۳	۰/۳۴۲	۰/۸۲۹
۰/۳۰	۴/۴۴۴۲	۰/۰۲۸۹	۱۵۳/۹۰۱	۰/۰۲۱۲	۱۰۹/۸۶۸	۰/۰۱۵۹	۲۷۹/۸۲۰	۰/۴۱۶	۰/۳۵۴	۰/۸۲۳
۰/۳۱	۴/۵۵۸۹	۰/۰۲۹۹	۱۵۲/۷۷۹	۰/۰۲۱۹	۲۰۸/۳۳۵	۰/۰۱۶۴	۲۷۷/۷۸۰	۰/۴۳۰	۰/۳۳۶	۰/۸۱۷
۰/۳۲	۴/۶۷۱۴	۰/۰۳۰۸	۱۵۱/۶۵۷	۰/۰۲۲۶	۲۰۶/۸۰۵	۰/۰۱۶۹	۲۷۵/۷۴۰	۰/۴۴۴	۰/۳۷۸	۰/۸۱۱
۰/۳۳	۴/۷۸۱۷	۰/۰۳۱۸	۱۵۰/۵۳۵	۰/۰۲۳۳	۲۰۵/۲۷۵	۰/۰۱۷۵	۲۷۳/۷۰۰	۰/۴۵۸	۰/۳۸۹	۰/۸۰۵
۰/۳۴	۴/۸۹۹	۰/۰۳۲۷	۱۴۹/۴۱۳	۰/۰۲۴۰	۲۰۳/۷۴۵	۰/۰۱۸۰	۲۷۱/۶۶۰	۰/۴۷۲	۰/۴۰۱	۰/۷۹۹
۰/۳۵	۵/۰۰۲۲	۰/۰۳۳۷	۱۴۸/۴۷۸	۰/۰۲۴۷	۲۰۲/۴۷۰	۰/۰۱۸۵	۲۶۹/۹۶۰	۰/۴۸۶	۰/۴۱۳	۰/۷۹۴
۰/۳۶	۵/۱۰۶۲	۰/۰۳۴۷	۱۴۷/۳۵۶	۰/۰۲۵۴	۲۰۰/۹۴۰	۰/۰۱۹۱	۲۶۷/۹۲۰	۰/۵۰۰	۰/۴۲۵	۰/۷۸۸

f_c = 30 MPa										
		f_y = 220MPa		f_y = 300 MPa		f_y = 400 MPa				
W	K	ρ*	a_n	ρ*	a_n	ρ*	a_n	$\frac{x}{d}$	$\frac{a}{d}$	J
۰/۳۷	۵/۲۰۸۱	۰/۰۳۵۶	۱۴۶/۲۳۴	۰/۰۲۶۱	۱۹۹/۴۱۰	۰/۰۱۹۶	۲۶۵/۸۸۰	۰/۵۱۴	۰/۴۳۷	۰/۷۸۲
۰/۳۸	۵/۳۰۷۸	۰/۰۳۶۶	۱۴۵/۱۱۲	۰/۰۲۶۸	۱۹۷/۸۸۰	۰/۰۲۰۱	۲۶۳/۸۴۰	۰/۵۲۸	۰/۴۴۸	۰/۷۷۶
۰/۳۹	۵/۴۰۵۴	۰/۰۳۷۵	۱۴۳/۹۹۰	۰/۰۲۷۵	۱۹۶/۳۵۰	۰/۰۲۰۶	۲۶۱/۸۰۰	۰/۵۴۱	۰/۴۶۰	۰/۷۷۰
۰/۴۰	۵/۵۰۰۸	۰/۰۳۸۵	۱۴۲/۸۶۸	۰/۰۲۸۲	۱۹۴/۸۲۰	۰/۰۲۱۲	۲۵۹/۷۶۰	۰/۵۵۵	۰/۴۷۲	۰/۷۶۴
۰/۴۱	۵/۵۹۴۰	۰/۰۳۹۵	۱۴۱/۷۴۶	۰/۰۲۸۹	۱۹۳/۲۹۰	۰/۰۲۱۷	۲۵۷/۷۲۰	۰/۵۶۹	۰/۴۸۴	۰/۷۵۸
۰/۴۲	۵/۶۸۵۱	۰/۰۴۰۴	۱۴۰/۶۲۴	۰/۰۲۹۶	۱۹۱/۷۶۰	۰/۰۲۲۲	۲۵۵/۶۸۰	۰/۵۸۳	۰/۴۹۶	۰/۷۵۲
۰/۴۳	۵/۷۷۴۰	۰/۰۴۱۴	۱۳۹/۵۰۲	۰/۰۳۰۴	۱۹۰/۲۳۰	۰/۰۲۲۸	۲۵۳/۶۴۰	۰/۵۹۷	۰/۵۰۷	۰/۷۴۶
۰/۴۴	۵/۸۶۰۸	۰/۰۴۲۴	۱۳۸/۳۸۰	۰/۰۳۱۱	۱۸۸/۷۰۰			۰/۶۱۱	۰/۵۱۹	۰/۷۴۰
۰/۴۵	۵/۹۵۳۵	۰/۰۴۳۳	۱۳۷/۴۴۵	۰/۰۳۱۸	۱۸۷/۴۲۵			۰/۶۲۵	۰/۵۳۱	۰/۷۳۵
۰/۴۶	۶/۰۳۶۱	۰/۰۴۴۳	۱۳۶/۳۲۳	۰/۰۳۲۵	۱۸۵/۸۹۵			۰/۶۳۹	۰/۵۴۳	۰/۷۲۹
۰/۴۷	۶/۱۱۶۶	۰/۰۴۵۲	۱۳۵/۲۰۱	۰/۰۳۳۲	۱۸۴/۳۶۵			۰/۶۵۲	۰/۵۵۵	۰/۷۲۳
۰/۴۸	۶/۱۹۴۹	۰/۰۴۶۲	۱۳۴/۰۷۹	۰/۰۳۳۹	۱۸۲/۸۳۵			۰/۶۶۶	۰/۵۶۶	۰/۷۱۷
۰/۴۹	۶/۲۷۱۰	۰/۰۴۷۲	۱۳۲/۹۵۷					۰/۶۸۰	۰/۵۷۸	۰/۷۱۱
۰/۵۰	۶/۳۴۵۰	۰/۰۴۸۱	۱۳۱/۸۳۵					۰/۶۹۴	۰/۵۹۰	۰/۷۰۵
۰/۵۱	۶/۴۱۶۸	۰/۰۴۹۱	۱۳۰/۷۱۳					۰/۷۰۸	۰/۶۰۲	۰/۶۹۹
۰/۵۲	۶/۴۸۶۵	۰/۰۵۰۱	۱۲۹/۵۹۱					۰/۷۲۲	۰/۶۱۴	۰/۶۹۳
ρ_{max}		۰/۰۵۰۹		۰/۰۳۴۰		۰/۰۲۳۰				

* ρهای بالای خط نازک کمتر از ρ_{min} می‌باشند.

خمش ۲-۴) ضرایب لازم برای طرح تیرهای مستطیل شکل و بدون آرماتور فشاری، در حالت f_c= 35 Mpa

مراجع: بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۱-۳ و ۱۱-۴-۱ و ۱۱-۵-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

$M_u = K.F$ KN.m

$K= \phi_c \cdot f_c \cdot W \cdot J$

f_c بر حسب Mpa است.

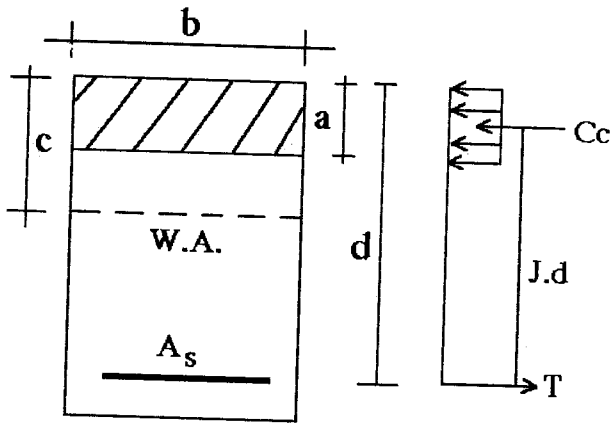
$$W = \rho \frac{\phi_s f_y}{\phi_c f_c}$$

$F = \frac{bd^2}{1000}$ b و d بر حسب cm می‌باشد

همچنین $M_u = A_s \cdot d \cdot a_n \cdot 10^{-3}$

که $a_n = \phi_s \cdot f_c \cdot J$

A_s و d و M_u به ترتیب بر حسب cm^2 و cm و KN.m می‌باشند.



$\frac{x}{d} = 1.18(\frac{W}{\beta_1})$ $\quad \frac{a}{d} = \beta_1 \frac{x}{d}$ $\quad \beta_1 = 0.85$ $\quad J = 1 - \frac{a}{2d}$ $\quad J = 1\text{-}0.59W$

$f_c = 35MPa$

		$f_y = 220MPa$		$f_y = 300$ MPa		$f_y = 400$ MPa				
W	K	ρ^*	a_n	ρ^*	a_n	ρ^*	a_n	$\frac{x}{d}$	$\frac{a}{d}$	J
۰/۰۲	۰/۴۱۵۰	۰/۰۰۲۲	۱۸۴/۷۵۶	۰/۰۰۱۶	۲۵۱/۹۴۰	۰/۰۰۱۲	۳۳۵/۹۲۰	۰/۰۲۹	۰/۰۲۴	۰/۹۸۸
۰/۰۳	۰/۶۱۸۷	۰/۰۰۳۴	۱۸۳/۶۳۴	۰/۰۰۲۵	۲۵۰/۴۱۰	۰/۰۰۱۹	۳۳۳/۸۸۰	۰/۰۴۴	۰/۰۳۵	۰/۹۸۲
۰/۰۴	۰/۸۱۹۸	۰/۰۰۴۵	۱۸۲/۵۱۲	۰/۰۰۳۳	۲۴۸/۸۸۰	۰/۰۰۲۵	۳۳۱/۸۴۰	۰/۰۵۹	۰/۰۴۷	۰/۹۷۶
۰/۰۵	۱/۰۱۹۶	۰/۰۰۵۶	۱۸۱/۵۷۷	۰/۰۰۴۱	۲۴۷/۶۰۵	۰/۰۰۳۱	۳۳۰/۱۴۰	۰/۰۷۲	۰/۰۵۹	۰/۹۷۱
۰/۰۶	۱/۲۱۵۹	۰/۰۰۶۷	۱۸۰/۴۵۵	۰/۰۰۴۹	۲۴۶/۰۷۵	۰/۰۰۳۷	۳۲۸/۱۰۰	۰/۰۸۷	۰/۰۷۱	۰/۹۶۵
۰/۰۷	۱/۴۰۹۷	۰/۰۰۷۹	۱۷۹/۳۳۳	۰/۰۰۵۸	۲۴۴/۵۴۵	۰/۰۰۴۳	۳۲۶/۰۶۰	۰/۱۰۲	۰/۰۸۳	۰/۹۵۹
۰/۰۸	۱/۶۰۱۰	۰/۰۰۹۰	۱۷۸/۲۱۱	۰/۰۰۶۶	۲۴۳/۰۱۵	۰/۰۰۴۹	۳۲۴/۰۲۰	۰/۱۱۶	۰/۰۹۴	۰/۹۵۳
۰/۰۹	۱/۷۸۹۸	۰/۰۱۰۱	۱۷۷/۰۸۹	۰/۰۰۷۴	۲۴۱/۴۸۵	۰/۰۰۵۶	۳۲۱/۹۸۰	۰/۱۳۱	۰/۱۰۶	۰/۹۴۷
۰/۱۰	۱/۹۷۶۱	۰/۰۱۱۲	۱۷۵/۹۶۷	۰/۰۰۸۲	۲۳۹/۹۵۵	۰/۰۰۶۲	۳۱۹/۹۴۰	۰/۱۴۶	۰/۱۱۸	۰/۹۴۱
۰/۱۱	۲/۱۵۹۹	۰/۰۱۲۴	۱۷۴/۸۴۵	۰/۰۰۹۱	۲۳۸/۴۲۵	۰/۰۰۶۸	۳۱۷/۹۰۰	۰/۱۶۱	۰/۱۳۰	۰/۹۳۵
۰/۱۲	۲/۳۴۱۱	۰/۰۱۳۵	۱۷۳/۷۲۳	۰/۰۰۹۹	۲۳۶/۸۹۵	۰/۰۰۷۴	۳۱۵/۸۶۰	۰/۱۷۵	۰/۱۴۲	۰/۹۲۹
۰/۱۳	۲/۵۱۹۸	۰/۰۱۴۶	۱۷۲/۶۰۱	۰/۰۱۰۷	۲۳۵/۳۶۵	۰/۰۰۸۰	۳۱۳/۸۲۰	۰/۱۸۹	۰/۱۵۳	۰/۹۲۳
۰/۱۴	۲/۶۹۶۰	۰/۰۱۵۷	۱۷۱/۴۷۹	۰/۰۱۱۵	۲۳۳/۸۳۵	۰/۰۰۸۷	۳۱۱/۷۸۰	۰/۲۰۴	۰/۱۶۵	۰/۹۱۷
۰/۱۵	۲/۸۷۲۸	۰/۰۱۶۸	۱۷۰/۵۴۴	۰/۰۱۲۴	۲۳۲/۵۶۰	۰/۰۰۹۳	۳۱۰/۰۸۰	۰/۲۱۸	۰/۱۷۷	۰/۹۱۲
۰/۱۶	۳/۰۴۴۲	۰/۰۱۸۰	۱۶۹/۴۲۲	۰/۰۱۳۲	۲۳۱/۰۳۰	۰/۰۰۹۹	۳۰۸/۰۴۰	۰/۲۳۳	۰/۱۸۹	۰/۹۰۶
۰/۱۷	۳/۲۱۳۰	۰/۰۱۹۱	۱۶۸/۳۰۰	۰/۰۱۴۰	۲۲۹/۵۰۰	۰/۰۱۰۵	۳۰۶/۰۰۰	۰/۲۴۸	۰/۲۰۱	۰/۹۰۰
۰/۱۸	۳/۳۷۹۳	۰/۰۲۰۱	۱۶۷/۱۷۸	۰/۰۱۴۸	۲۲۷/۹۷۰	۰/۰۱۱۱	۳۰۳/۹۶۰	۰/۲۶۲	۰/۲۱۲	۰/۸۹۴

f_c = 35 MPa										
		f_y = 220MPa		f_y = 300 MPa		f_y = 400 MPa				
W	K	ρ*	a_n	ρ*	a_n	ρ*	a_n	$\frac{x}{d}$	$\frac{a}{d}$	J
۰/۱۹	۳/۵۴۳۱	۰/۰۲۱۳	۱۶۶/۰۵۶	۰/۰۱۵۷	۲۲۶/۴۴۰	۰/۱۱۷	۳۰۱/۹۲۰	۰/۲۷۷	۰/۲۲۴	۰/۸۸۸
۰/۲۰	۳/۷۰۴۴	۰/۰۲۲۵	۱۶۴/۹۳۴	۰/۰۱۶۵	۲۲۴/۹۱۰	۰/۰۱۲۴	۲۹۹/۸۸۰	۰/۲۹۲	۰/۲۳۶	۰/۸۸۲
۰/۲۱	۳/۸۶۳۲	۰/۰۲۳۶	۱۶۳/۸۱۲	۰/۰۱۷۳	۲۲۳/۳۸۰	۰/۰۱۳۰	۲۹۷/۸۴۰	۰/۳۰۶	۰/۲۴۸	۰/۸۷۶
۰/۲۲	۴/۰۱۹۴	۰/۰۲۴۷	۱۶۲/۶۹۰	۰/۰۱۸۱	۲۲۱/۷۵۰	۰/۰۱۳۶	۲۹۵/۸۰۰	۰/۳۲۰	۰/۲۶۰	۰/۸۷۰
۰/۲۳	۴/۱۷۳۱	۰/۰۲۵۸	۱۶۱/۵۶۸	۰/۰۱۹۰	۲۲۰/۳۲۰	۰/۰۱۴۲	۲۹۳/۷۶۰	۰/۳۳۵	۰/۲۷۱	۰/۸۶۴
۰/۲۴	۴/۳۲۴۳	۰/۰۲۷۰	۱۶۰/۴۴۸	۰/۰۱۹۸	۲۱۸/۷۹۰	۰/۰۱۴۸	۲۹۱/۷۲۰	۰/۳۴۹	۰/۲۸۳	۰/۸۵۸
۰/۲۵	۴/۴۷۸۳	۰/۰۲۸۱	۱۵۹/۵۱۱	۰/۰۲۰۶	۲۱۷/۵۱۵	۰/۰۱۵۵	۲۹۰/۰۲۰	۰/۳۶۴	۰/۲۹۵	۰/۸۵۳
۰/۲۶	۴/۶۲۴۶	۰/۰۲۹۲	۱۵۸/۲۸۹	۰/۰۲۱۴	۲۱۵/۹۸۵	۰/۰۱۶۱	۲۸۷/۹۸۰	۰/۳۷۹	۰/۳۰۷	۰/۸۴۷
۰/۲۷	۴/۷۶۸۵	۰/۰۳۰۳	۱۵۷/۲۶۷	۰/۰۲۲۱	۲۱۴/۴۵۵	۰/۰۱۶۷	۲۸۵/۹۴۰	۰/۳۹۴	۰/۳۱۹	۰/۸۴۱
۰/۲۸	۴/۹۰۹۸	۰/۰۳۱۴	۱۵۶/۱۴۵	۰/۰۲۳۱	۲۱۲/۹۲۵	۰/۰۱۷۳	۲۸۳/۹۰۰	۰/۴۰۸	۰/۳۳۰	۰/۸۳۵
۰/۲۹	۵/۰۴۸۶	۰/۰۳۲۶	۱۵۵/۰۲۳	۰/۰۲۳۹	۲۱۱/۳۹۵	۰/۰۱۷۹	۲۸۱/۸۶۰	۰/۴۲۳	۰/۳۴۲	۰/۸۲۹
۰/۳۰	۵/۱۸۴۹	۰/۰۳۳۷	۱۵۳/۹۰۱	۰/۰۲۴۷	۱۰۹/۸۶۸	۰/۰۱۸۵	۲۷۹/۸۲۰	۰/۴۳۷	۰/۳۵۴	۰/۸۲۳
۰/۳۱	۵/۳۱۸۷	۰/۰۳۴۸	۱۵۲/۷۷۹	۰/۰۲۵۵	۲۰۸/۳۳۵	۰/۰۱۹۲	۲۷۷/۷۸۰	۰/۴۵۱	۰/۳۳۶	۰/۸۱۷
۰/۳۲	۵/۴۴۹۹	۰/۰۳۵۹	۱۵۱/۶۵۷	۰/۰۲۶۴	۲۰۶/۸۰۵	۰/۰۱۹۸	۲۷۵/۷۴۰	۰/۴۶۶	۰/۳۷۸	۰/۸۱۱
۰/۳۳	۵/۵۷۸۷	۰/۰۳۷۱	۱۵۰/۵۳۵	۰/۰۲۷۲	۲۰۵/۲۷۵	۰/۰۲۰۴	۲۷۳/۷۰۰	۰/۴۸۱	۰/۳۸۹	۰/۸۰۵
۰/۳۴	۵/۷۰۴۹	۰/۰۳۸۲	۱۴۹/۴۱۳	۰/۰۲۸۰	۲۰۳/۷۴۵	۰/۰۲۱۰	۲۷۱/۶۶۰	۰/۴۹۵	۰/۴۰۱	۰/۷۹۹
۰/۳۵	۵/۸۳۵۹	۰/۰۳۹۳	۱۴۸/۴۷۸	۰/۰۲۸۸	۲۰۲/۴۷۰	۰/۰۲۱۶	۲۶۹/۹۶۰	۰/۵۱۰	۰/۴۱۳	۰/۷۹۴
۰/۳۶	۵/۹۵۷۳	۰/۰۴۰۴	۱۴۷/۳۵۶	۰/۰۲۹۷	۲۰۰/۹۴۰	۰/۰۲۲۲	۲۶۷/۹۲۰	۰/۵۲۵	۰/۴۲۵	۰/۷۸۸

$f_c = 35$ MPa										
		$f_y = 220$MPa		$f_y = 300$ MPa		$f_y = 400$ MPa				
W	K	ρ*	a_n	ρ*	a_n	ρ*	a_n	$\frac{x}{d}$	$\frac{a}{d}$	J
۰/۳۷	۶/۰۷۶۱	۰/۰۴۱۶	۱۴۶/۲۳۴	۰/۰۳۰۵	۱۹۹/۴۱۰	۰/۰۲۲۹	۲۶۵/۸۸۰	۰/۵۳۹	۰/۴۳۷	۰/۷۸۲
۰/۳۸	۶/۱۹۲۵	۰/۰۴۲۷	۱۴۵/۱۱۲	۰/۰۳۱۳	۱۹۷/۸۸۰	۰/۰۲۳۵	۲۶۳/۸۴۰	۰/۵۵۴	۰/۴۴۸	۰/۷۷۶
۰/۳۹	۶/۳۰۶۳	۰/۰۴۳۸	۱۴۳/۹۹۰	۰/۰۳۲۱	۱۹۶/۳۵۰	۰/۰۲۴۱	۲۶۱/۸۰۰	۰/۵۶۸	۰/۴۶۰	۰/۷۷۰
۰/۴۰	۶/۴۱۷۶	۰/۰۴۴۹	۱۴۲/۸۶۸	۰/۰۳۲۹	۱۹۴/۸۲۰	۰/۰۲۴۷	۲۵۹/۷۶۰	۰/۵۸۲	۰/۴۷۲	۰/۷۶۴
۰/۴۱	۶/۵۲۶۴	۰/۰۴۶۰	۱۴۱/۷۴۶	۰/۰۳۳۸	۱۹۳/۲۹۰	۰/۰۲۵۳	۲۵۷/۷۲۰	۰/۵۹۷	۰/۴۸۴	۰/۷۵۸
۰/۴۲	۶/۶۳۲۶	۰/۰۴۷۲	۱۴۰/۶۲۴	۰/۰۳۴۶	۱۹۱/۷۶۰			۰/۶۱۲	۰/۴۹۶	۰/۷۵۲
۰/۴۳	۶/۷۳۶۴	۰/۰۴۸۳	۱۳۹/۵۰۲	۰/۰۳۵۴	۱۹۰/۲۳۰			۰/۶۲۶	۰/۵۰۷	۰/۷۴۶
۰/۴۴	۶/۸۳۷۶	۰/۰۴۹۴	۱۳۸/۳۸۰	۰/۰۳۶۲	۱۸۸/۷۰۰			۰/۶۴۱	۰/۵۱۹	۰/۷۴۰
۰/۴۵	۶/۹۴۵۸	۰/۰۵۰۵	۱۳۷/۴۴۵	۰/۰۳۷۱	۱۸۷/۴۲۵			۰/۶۵۶	۰/۵۳۱	۰/۷۳۵
۰/۴۶	۷/۰۴۲۱	۰/۰۵۱۷	۱۳۶/۳۲۳					۰/۶۷۱	۰/۵۴۳	۰/۷۲۹
۰/۴۷	۷/۱۳۶۰	۰/۰۵۲۸	۱۳۵/۲۰۱					۰/۶۸۴	۰/۵۵۵	۰/۷۲۳
۰/۴۸	۷/۲۲۷۴	۰/۰۵۳۹	۱۳۴/۰۷۹					۰/۶۹۹	۰/۵۶۶	۰/۷۱۷
۰/۴۹	۷/۳۱۶۲	۰/۰۵۵۰	۱۳۲/۹۵۷					۰/۷۱۴	۰/۵۷۸	۰/۷۱۱
۰/۵۰	۷/۴۰۲۵	۰/۰۵۶۱	۱۳۱/۸۳۵					۰/۷۲۸	۰/۵۹۰	۰/۷۰۵
۰/۵۱	۷/۴۸۶۳							۰/۷۴۳	۰/۶۰۲	۰/۶۹۹
۰/۵۲	۷/۵۶۷۶							۰/۷۵۸	۰/۶۱۴	۰/۶۹۳
ρ_{max}		۰/۰۵۶۶		۰/۰۳۷۸		۰/۰۲۵۵				

* ρهای بالای خط نازک کمتر از ρ_{min} می‌باشند.

خمش ۳-۱) ضرایب لازم برای طرح تیرهای مستطیل شکل و دارای آرماتور فشاری، در حالتی که $f'_s = f_y$ ، و تیرهای T شکل در حالتیکه $h_f < a$ $f_c = 20\ MPa$

مراجع: بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۱-۳ و ۱۱-۴-۱ و ۱۱-۴-۲ و ۱۱-۵-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

تیر T شکل

$M_{uf} = A_{sf} . d . a_{nf} \times 10^{-3}$

A_{sf} و M_{uf} به ترتیب بر حسب cm و cm^2 و KN.m می‌باشند.

$$A_{sf} = \frac{k_f . J_f . b_w . h_f}{a_{nf}} \longrightarrow$$ h_f و b_w برحسب cm و

A_{sf} برحسب cm^2 می‌باشند.

$k_f = 0.85\phi_c f_c (\frac{b}{bw} - 1)$ f_c بر حسب MPa است

(kf از خمش ۳-۳)

$J_f = 1 - \frac{h_f}{2d}$

$a_{nf} = \phi_s f_y (1 - \frac{hf}{2d})$ fy بر حسب MPa است

$A_s = A_{sw} + A_{sf}$

تیر مستطیل شکل

$$\rho - \rho' \geq 0.85\beta_1 \frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \frac{d'}{d} \frac{600}{600 - f_y}$$

$M_{u2} = A_{s2} . d . a'_n \times 10^{-3}$

A_{s2} و M_{u2} به ترتیب بر حسب cm و cm^2 و KN.m می‌باشند.

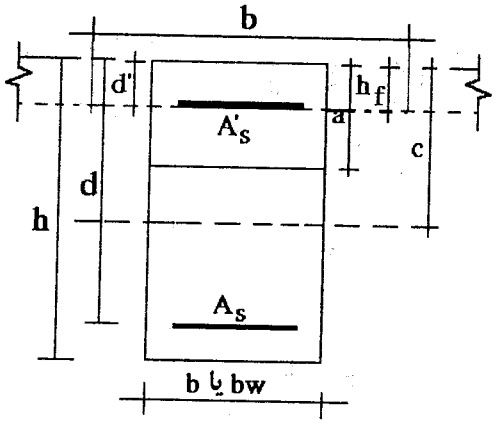
$a'_n = \phi_s f_y (1 - \frac{d'}{d})$ fy بر حسب MPa است

$$A'_s = A_{s2} = \frac{M_u - K.F}{d.a'_n} \times 1000 \longrightarrow$$ A's و d بترتیب برحسب

cm و cm^2 می‌باشند.

$A_s = A_{s1} + A_{s2}$

$\rho = \frac{A_s}{bd}$



f_c = 20 Mpa								
	f_y = 220MPa		f_y = 300 MPa		f_y = 400 MPa			
d'/d	$\rho-\rho'^*$	a'n یا a_{nf}	$\rho-\rho'^*$	a'n یا a_{nf}	$\rho-\rho'^*$	a'n یا a_{nf}	h_f/d	J_f
۰/۰۱	۰/۰۰۰۷	۱۸۵/۱۳	۰/۰۰۰۷	۲۵۲/۴۵	۰/۰۰۰۸	۳۳۶/۶۰	۰/۰۲	۰/۹۹
۰/۰۲	۰/۰۰۱۵	۱۸۳/۱۶	۰/۰۰۰۴	۲۴۹/۹۰	۰/۰۰۱۵	۳۳۳/۲۰	۰/۰۴	۰/۹۸
۰/۰۳	۰/۰۰۲۲	۱۸۱/۳۹	۰/۰۰۱۴	۲۴۷/۳۵	۰/۰۰۲۳	۳۲۹/۸۰	۰/۰۶	۰/۹۷
۰/۰۴	۰/۰۰۲۹	۱۷۹/۵۲	۰/۰۰۲۰	۲۴۴/۸۰	۰/۰۰۳۱	۳۲۶/۴۰	۰/۰۸	۰/۹۶
۰/۰۵	۰/۰۰۳۷	۱۷۷/۶۵	۰/۰۰۲۷	۲۴۲/۲۵	۰/۰۰۳۸	۳۲۳/۰۰	۰/۱۰	۰/۹۵
۰/۰۶	۰/۰۰۴۴	۱۷۵/۷۸	۰/۰۰۳۴	۲۳۹/۷۰	۰/۰۰۴۶	۳۱۹/۶۰	۰/۱۲	۰/۹۴
۰/۰۷	۰/۰۰۵۱	۱۷۳/۹۱	۰/۰۰۴۱	۲۳۷/۱۵	۰/۰۰۵۴	۳۱۶/۲۰	۰/۱۴	۰/۹۳
۰/۰۸	۰/۰۰۵۹	۱۷۲/۰۴	۰/۰۰۴۸	۲۳۴/۶۰	۰/۰۰۶۱	۳۱۲/۸۰	۰/۱۶	۰/۹۲
۰/۰۹	۰/۰۰۶۶	۱۷۰/۱۷	۰/۰۰۵۴	۲۳۲/۰۵	۰/۰۰۶۹	۳۰۹/۴۰	۰/۱۸	۰/۹۱
۰/۱۰	۰/۰۰۷۳	۱۶۸/۳۰	۰/۰۰۶۱	۲۲۹/۵۰	۰/۰۰۷۷	۳۰۶/۰۰	۰/۲۰	۰/۹۰
۰/۱۱	۰/۰۰۸۱	۱۶۶/۴۳	۰/۰۰۶۸	۲۲۶/۹۵	۰/۰۰۸۴	۳۰۲/۶۰	۰/۲۲	۰/۸۹
۰/۱۲	۰/۰۰۸۸	۱۶۴/۵۶	۰/۰۰۷۵	۲۲۴/۴۰	۰/۰۰۹۲	۲۹۹/۲۰	۰/۲۴	۰/۸۸
۰/۱۳	۰/۰۰۹۵	۱۶۲/۶۹	۰/۰۰۸۲	۲۲۱/۸۵	۰/۰۰۹۹	۲۹۵/۸۰	۰/۲۶	۰/۸۷
۰/۱۴	۰/۰۱۰۲	۱۶۰/۸۲	۰/۰۰۸۸	۲۱۹/۳۰	۰/۰۱۰۷	۲۹۲/۴۰	۰/۲۸	۰/۸۶
۰/۱۵	۰/۰۱۱۰	۱۵۸/۹۵	۰/۰۰۹۵	۲۱۶/۷۵	۰/۰۱۱۵	۲۸۹/۰۰	۰/۳۰	۰/۸۵
۰/۱۶	۰/۰۱۱۷	۱۵۷/۰۸	۰/۰۱۰۲	۲۱۴/۲۰	۰/۰۱۲۲	۲۸۵/۶۰	۰/۳۲	۰/۸۴

f_c = 20 Mpa								
	f_y = 220MPa		f_y = 300 MPa		f_y = 400 MPa			
d'/d	$\rho-\rho'^*$	a'n یا a_{nf}	$\rho-\rho'^*$	a'n یا a_{nf}	$\rho-\rho'^*$	a'n یا a_{nf}	h_f/d	J_f
۰/۱۷	۰/۰۱۲۴	۱۵۵/۲۱	۰/۰۱۰۹	۲۱۱/۶۵	۰/۰۱۳۰	۲۸۲/۲۰	۰/۳۴	۰/۸۳
۰/۱۸	۰/۰۱۳۲	۱۵۳/۳۴	۰/۰۱۱۶	۲۰۹/۱۰	۰/۰۱۳۸	۲۷۸/۸۰	۰/۳۶	۰/۸۲
۰/۱۹	۰/۰۱۳۹	۱۵۱/۴۷	۰/۰۱۲۲	۲۰۶/۵۵	۰/۰۱۴۵	۲۷۵/۴۰	۰/۳۸	۰/۸۱
۰/۲۰	۰/۰۱۴۶	۱۴۹/۶۰	۰/۰۱۲۹	۲۰۴/۰۰	۰/۰۱۵۳	۲۷۲/۰۰	۰/۴۰	۰/۸۰
۰/۲۱	۰/۰۱۵۴	۱۴۷/۷۳	۰/۰۱۳۶	۲۰۱/۴۵		۲۶۸/۶۰	۰/۴۲	۰/۷۹
۰/۲۲	۰/۰۱۶۱	۱۴۵/۸۶	۰/۰۱۴۳	۱۹۸/۹۰		۲۶۵/۲۰	۰/۴۴	۰/۷۸
۰/۲۳	۰/۰۱۶۸	۱۴۳/۹۹	۰/۰۱۵۰	۱۹۶/۳۵		۲۶۱/۸۰	۰/۴۶	۰/۷۷
۰/۲۴	۰/۰۱۷۶	۱۴۲/۱۲	۰/۰۱۵۶	۱۹۳/۸۰		۲۵۸/۴۰	۰/۴۸	۰/۷۶
۰/۲۵	۰/۰۱۸۳	۱۴۰/۲۰	۰/۰۱۶۳	۱۹۰/۸۵۸		۲۵۵/۰۰	۰/۵۰	۰/۷۵
۰/۲۶	۰/۰۱۹۰	۱۳۸/۳۸	۰/۰۱۶۷	۱۸۸/۷۰		۲۵۱/۶۰	۰/۵۲	۰/۷۴
۰/۲۷	۰/۰۱۹۸	۱۳۶/۵۱	۰/۰۱۷۷	۱۸۶/۱۵		۲۴۸/۲۰	۰/۵۴	۰/۷۳
۰/۲۸	۰/۰۲۰۵	۱۳۴/۶۴	۰/۰۱۸۴	۱۸۳/۶۰		۲۴۴/۸۰	۰/۵۶	۰/۷۲
۰/۲۹	۰/۰۲۱۲	۱۳۲/۷۷	۰/۰۱۹۰	۱۸۱/۰۵		۲۴۱/۴۰	۰/۵۸	۰/۷۱
۰/۳۰	۰/۰۲۲۰	۱۳۰/۹۰	۰/۰۱۹۷	۱۷۸/۵۰		۲۳۸/۰۰	۰/۶۰	۰/۷۰

f_c = 20 Mpa								
	f_y = 220MPa		f_y = 300 MPa		f_y = 400 MPa			
d'/d	$\rho-\rho'^*$	a'n یا a_{nf}	$\rho-\rho'^*$	a'n یا a_{nf}	$\rho-\rho'^*$	a'n یا a_{nf}	h_f/d	J_f
۰/۳۱	۰/۰۲۲۷	۱۲۹/۰۳	۰/۰۲۰۴	۱۷۵/۹۵		۲۳۴/۶۰	۰/۶۲	۰/۶۹
۰/۳۲	۰/۰۲۳۴	۱۲۷/۱۶	۰/۰۲۱۱	۱۷۳/۴۰		۲۳۱/۲۰	۰/۶۴	۰/۶۸
۰/۳۳	۰/۰۲۴۲	۱۲۵/۲۹	۰/۰۲۱۸	۱۷۰/۸۵		۲۲۷/۸۰	۰/۶۶	۰/۶۷
۰/۳۴	۰/۰۲۴۹	۱۲۳/۴۲	۰/۰۲۲۴	۱۶۸/۳۰		۲۲۴/۴۰	۰/۶۸	۰/۶۶
۰/۳۵	۰/۰۲۵۶	۱۲۱/۵۵		۱۶۵/۷۵		۲۲۱/۰۰	۰/۷۰	۰/۶۵
۰/۳۶	۰/۰۲۶۴	۱۱۹/۶۸		۱۶۳/۲۰		۲۱۷/۶۰	۰/۷۲	۰/۶۴
۰/۳۷	۰/۰۲۷۱	۱۱۷/۸۱		۱۶۰/۶۵		۲۱۴/۲۰	۰/۷۴	۰/۶۳
۰/۳۸	۰/۰۲۷۸	۱۱۵/۹۴		۱۵۸/۱۰		۲۱۰/۸۰	۰/۷۶	۰/۶۲
۰/۳۹	۰/۰۲۸۶	۱۱۴/۰۴		۱۵۵/۵۵		۲۰۷/۴۰	۰/۷۸	۰/۶۱
۰/۴۰	۰/۰۲۹۳	۱۱۲/۲۰		۱۵۳/۰۰		۲۰۴/۰۰	۰/۸۰	۰/۶۰
۰/۴۱	۰/۰۳۰۰	۱۱۰/۳۳		۱۵۰/۴۵		۲۰۰/۶۰	۰/۸۲	۰/۵۹
۰/۴۲	۰/۰۳۰۷	۱۰۸/۴۶		۱۴۷/۹۰		۱۹۷/۲۰	۰/۸۴	۰/۵۸
۰/۴۳	۰/۰۳۱۵	۱۰۶/۵۹		۱۴۵/۳۵		۱۹۳/۸۰	۰/۸۶	۰/۵۷
۰/۴۴	۰/۰۳۲۲	۱۰۴/۷۲		۱۴۲/۸۰		۱۹۰/۴۰	۰/۸۸	۰/۵۶
۰/۴۵	۰/۰۳۲۹	۱۰۲/۸۵		۱۴۰/۲۵		۱۸۷/۰۰	۰/۹۰	۰/۵۵
۰/۴۶	۰/۰۳۳۷	۱۰۰/۹۸		۱۳۷/۷۰		۱۹۳/۶۰	۰/۹۲	۰/۵۴

خمش ۳-۲) ضرایب لازم برای طرح تیرهای مستطیل شکل و دارای آرماتور فشاری، در حالتی که $f'_s = f_y$ و تیرهای T شکل در حالتیکه $h_f < a$ $f_c = 25\ MPa$

مراجع: بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۱-۳ و ۱۱-۴-۱ و ۱۱-۴-۲-۲ و ۱۱-۵-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

تیر T شکل

$$M_{uf} = A_{sf} . d . a_{nf} \times 10^{-3}$$

d و A_{sf} و M_{uf} به ترتیب بر حسب cm و cm^2 و KN.m می‌باشند.

$$A_{sf} = \frac{k_f . J_f . b_w . h_f}{a_{nf}} \longrightarrow$$ h_f و b_w برحسب cm و

A_{sf} برحسب cm^2 می‌باشند.

f_c بر حسب MPa است $k_f = 0.85\phi_c f_c (\frac{b}{bw} - 1)$

(kf از خمش ۳-۳)

$$J_f = 1 - \frac{h_f}{2d}$$

fy بر حسب MPa است $a_{nf} = \phi_s f_y (1 - \frac{hf}{2d})$

$$A_s = A_{sw} + A_{sf}$$

تیر مستطیل شکل

$$\rho - \rho' \geq 0.85\beta_1 \frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \frac{d'}{d} \frac{600}{600 - f_y}$$

$$M_{u2} = A_{s2} . d . a'_n \times 10^{-3}$$

d و A_{s2} و M_{u2} به ترتیب بر حسب cm و cm^2 و KN.m می‌باشند.

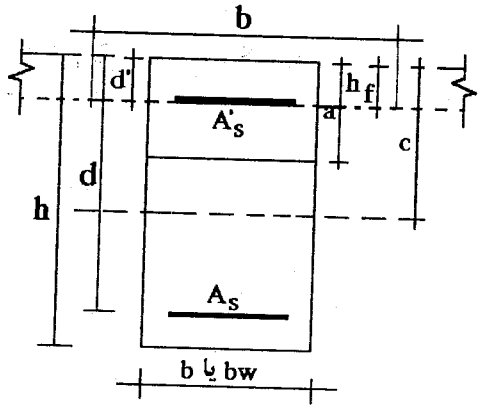
fy بر حسب MPa است $a'_n = \phi_s f_y (1 - \frac{d'}{d})$

$A's$ و d بترتیب برحسب $A'_s = A_{s2} = \frac{M_u - K.F}{d.a'_n} \times 1000 \longrightarrow$

cm و cm^2 می‌باشند.

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$



f_c = 25 Mpa								
	f_y = 220Mpa		f_y = 300 Mpa		f_y = 400 Mpa			
d'/d	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	h_f/d	J_f
۰/۰۱	۰/۰۰۰۹	۱۸۵/۱۳	۰/۰۰۰۹	۲۵۲/۴۵	۰/۰۰۱۰	۳۳۶/۶۰	۰/۰۲	۰/۹۹
۰/۰۲	۰/۰۰۱۸	۱۸۳/۱۶	۰/۰۰۱۷	۲۴۹/۹۰	۰/۰۰۱۹	۳۳۳/۲۰	۰/۰۴	۰/۹۸
۰/۰۳	۰/۰۰۲۷	۱۸۱/۳۹	۰/۰۰۲۶	۲۴۷/۳۵	۰/۰۰۲۹	۳۲۹/۸۰	۰/۰۶	۰/۹۷
۰/۰۴	۰/۰۰۳۷	۱۷۹/۵۲	۰/۰۰۳۴	۲۴۴/۸۰	۰/۰۰۳۸	۳۲۶/۴۰	۰/۰۸	۰/۹۶
۰/۰۵	۰/۰۰۴۶	۱۷۷/۶۵	۰/۰۰۴۳	۲۴۲/۲۵	۰/۰۰۴۸	۳۲۳/۰۰	۰/۱۰	۰/۹۵
۰/۰۶	۰/۰۰۵۵	۱۷۵/۷۸	۰/۰۰۵۱	۲۳۹/۷۰	۰/۰۰۵۷	۳۱۹/۶۰	۰/۱۲	۰/۹۴
۰/۰۷	۰/۰۰۶۴	۱۷۳/۹۱	۰/۰۰۶۰	۲۳۷/۱۵	۰/۰۰۶۷	۳۱۶/۲۰	۰/۱۴	۰/۹۳
۰/۰۸	۰/۰۰۷۳	۱۷۲/۰۴	۰/۰۰۶۸	۲۳۴/۶۰	۰/۰۰۷۷	۳۱۲/۸۰	۰/۱۶	۰/۹۲
۰/۰۹	۰/۰۰۸۲	۱۷۰/۱۷	۰/۰۰۷۷	۲۳۲/۰۵	۰/۰۰۸۶	۳۰۹/۴۰	۰/۱۸	۰/۹۱
۰/۱۰	۰/۰۰۹۲	۱۶۸/۳۰	۰/۰۰۸۵	۲۲۹/۵۰	۰/۰۰۹۶	۳۰۶/۰۰	۰/۲۰	۰/۹۰
۰/۱۱	۰/۰۱۰۱	۱۶۶/۴۳	۰/۰۰۹۴	۲۲۶/۹۵	۰/۰۱۰۵	۳۰۲/۶۰	۰/۲۲	۰/۸۹
۰/۱۲	۰/۰۱۱۰	۱۶۴/۵۶	۰/۰۱۰۲	۲۲۴/۴۰	۰/۰۱۱۵	۲۹۹/۲۰	۰/۲۴	۰/۸۸
۰/۱۳	۰/۰۱۱۹	۱۶۲/۶۹	۰/۰۱۱۱	۲۲۱/۸۵	۰/۰۱۲۴	۲۹۵/۸۰	۰/۲۶	۰/۸۷
۰/۱۴	۰/۰۱۲۸	۱۶۰/۸۲	۰/۰۱۱۹	۲۱۹/۳۰	۰/۰۱۳۴	۲۹۲/۴۰	۰/۲۸	۰/۸۶
۰/۱۵	۰/۰۱۳۷	۱۵۸/۹۵	۰/۰۱۲۸	۲۱۶/۷۵	۰/۰۱۴۳	۲۸۹/۰۰	۰/۳۰	۰/۸۵
۰/۱۶	۰/۰۱۴۶	۱۵۷/۰۸	۰/۰۱۳۶	۲۱۴/۲۰	۰/۰۱۵۳	۲۸۵/۶۰	۰/۳۲	۰/۸۴
۰/۱۷	۰/۰۱۵۶	۱۵۵/۲۱	۰/۰۱۴۵	۲۱۱/۶۵	۰/۰۱۶۳	۲۸۲/۲۰	۰/۳۴	۰/۸۳
۰/۱۸	۰/۰۱۶۵	۱۵۳/۳۴	۰/۰۱۵۳	۲۰۹/۱۰	۰/۰۱۷۲	۲۷۸/۸۰	۰/۳۶	۰/۸۲
۰/۱۹	۰/۰۱۷۴	۱۵۱/۴۷	۰/۰۱۶۲	۲۰۶/۵۵	۰/۰۱۸۲	۲۷۵/۴۰	۰/۳۸	۰/۸۱
۰/۲۰	۰/۰۱۸۳	۱۴۹/۶۰	۰/۰۱۷۰	۲۰۴/۰۰	۰/۰۱۹۱	۲۷۲/۰۰	۰/۴۰	۰/۸۰
۰/۲۱	۰/۰۱۹۲	۱۴۷/۷۳	۰/۰۱۷۹	۲۰۱/۴۵		۲۶۸/۶۰	۰/۴۲	۰/۷۹
۰/۲۲	۰/۰۲۰۱	۱۴۵/۸۶	۰/۰۱۸۷	۱۹۸/۹۰		۲۶۵/۲۰	۰/۴۴	۰/۷۸
۰/۲۳	۰/۰۲۱۰	۱۴۳/۹۹	۰/۰۱۹۶	۱۹۶/۳۵		۲۶۱/۸۰	۰/۴۶	۰/۷۷

f_c = 25 Mpa								
	f_y = 220MPa		f_y = 300 MPa		f_y = 400 MPa			
d'/d	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	h_f/d	J_f
۰/۲۴	۰/۰۲۲۰	۱۴۲/۱۲	۰/۰۲۰۴	۱۹۳/۸۰		۲۵۸/۴۰	۰/۴۸	۰/۷۶
۰/۲۵	۰/۰۲۲۹	۱۴۰/۲۰	۰/۰۲۰۳	۱۹۰/۸۵۸		۲۵۵/۰۰	۰/۵۰	۰/۷۵
۰/۲۶	۰/۰۲۳۸	۱۳۸/۳۸	۰/۰۲۲۱	۱۸۸/۷۰		۲۵۱/۶۰	۰/۵۲	۰/۷۴
۰/۲۷	۰/۰۲۴۷	۱۳۶/۵۱	۰/۰۲۳۰	۱۸۶/۱۵		۲۴۸/۲۰	۰/۵۴	۰/۷۳
۰/۲۸	۰/۰۲۵۶	۱۳۴/۶۴	۰/۰۲۳۸	۱۸۳/۶۰		۲۴۴/۸۰	۰/۵۶	۰/۷۲
۰/۲۹	۰/۰۲۶۵	۱۳۲/۷۷	۰/۰۲۴۷	۱۸۱/۰۵		۲۴۱/۴۰	۰/۵۸	۰/۷۱
۰/۳۰	۰/۰۲۷۵	۱۳۰/۹۰	۰/۰۲۵۵	۱۷۸/۵۰		۲۳۸/۰۰	۰/۶۰	۰/۷۰
۰/۳۱	۰/۰۲۸۴	۱۲۹/۰۳	۰/۰۲۶۴	۱۷۵/۹۵		۲۳۴/۶۰	۰/۶۲	۰/۶۹
۰/۳۲	۰/۰۲۹۳	۱۲۷/۱۶	۰/۰۲۷۲	۱۷۳/۴۰		۲۳۱/۲۰	۰/۶۴	۰/۶۸
۰/۳۳	۰/۰۳۰۲	۱۲۵/۲۹	۰/۰۲۸۱	۱۷۰/۸۵		۲۲۷/۸۰	۰/۶۶	۰/۶۷
۰/۳۴	۰/۰۳۱۱	۱۲۳/۴۲		۱۶۸/۳۰		۲۲۴/۴۰	۰/۶۸	۰/۶۶
۰/۳۵	۰/۰۳۲۰	۱۲۱/۵۵		۱۶۵/۷۵		۲۲۱/۰۰	۰/۷۰	۰/۶۵
۰/۳۶	۰/۰۳۲۹	۱۱۹/۶۸		۱۶۳/۲۰		۲۱۷/۶۰	۰/۷۲	۰/۶۴
۰/۳۷	۰/۰۳۳۹	۱۱۷/۸۱		۱۶۰/۶۵		۲۱۴/۲۰	۰/۷۴	۰/۶۳
۰/۳۸	۰/۰۳۴۸	۱۱۵/۹۴		۱۵۸/۱۰		۲۱۰/۸۰	۰/۷۶	۰/۶۲
۰/۳۹	۰/۰۳۵۷	۱۱۴/۰۷		۱۵۵/۵۵		۲۰۷/۴۰	۰/۷۸	۰/۶۱
۰/۴۰	۰/۰۳۶۶	۱۱۲/۲۰		۱۵۳/۰۰		۲۰۴/۰۰	۰/۸۰	۰/۶۰
۰/۴۱	۰/۰۳۷۵	۱۱۰/۳۳		۱۵۰/۴۵		۲۰۰/۶۰	۰/۸۲	۰/۵۹
۰/۴۲	۰/۰۳۸۴	۱۰۸/۴۶		۱۴۷/۹۰		۱۹۷/۲۰	۰/۸۴	۰/۵۸
۰/۴۳	۰/۰۳۹۳	۱۰۶/۵۹		۱۴۵/۳۵		۱۹۳/۸۰	۰/۸۶	۰/۵۷
۰/۴۴	۰/۰۴۰۳	۱۰۴/۷۲		۱۴۲/۸۰		۱۹۰/۴۰	۰/۸۸	۰/۵۶
۰/۴۵	۰/۰۴۱۲	۱۰۲/۸۵		۱۴۰/۲۵		۱۸۷/۰۰	۰/۹۰	۰/۵۵
۰/۴۶	۰/۰۴۲۱	۱۰۰/۹۸		۱۳۷/۷۰		۱۹۳/۶۰	۰/۹۲	۰/۵۴

f_c = 25 Mpa								
	f_y = 220MPa		f_y = 300 MPa		f_y = 400 MPa			
d'/d	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	h_f/d	J_f
۰/۰۱	۰/۰۰۰۹	۱۸۵/۱۳	۰/۰۰۰۹	۲۵۲/۴۵	۰/۰۰۱۱	۳۳۶/۶۰	۰/۰۲	۰/۹۹
۰/۰۲	۰/۰۰۱۸	۱۸۳/۱۶	۰/۰۰۱۷	۲۴۹/۹۰	۰/۰۰۲۳	۳۳۳/۲۰	۰/۰۴	۰/۹۸
۰/۰۳	۰/۰۰۲۷	۱۸۱/۳۹	۰/۰۰۲۶	۲۴۷/۳۵	۰/۰۰۳۴	۳۲۹/۸۰	۰/۰۶	۰/۹۷
۰/۰۴	۰/۰۰۳۷	۱۷۹/۵۲	۰/۰۰۳۴	۲۴۴/۸۰	۰/۰۰۴۶	۳۲۶/۴۰	۰/۰۸	۰/۹۶
۰/۰۵	۰/۰۰۴۶	۱۷۷/۶۵	۰/۰۰۴۳	۲۴۲/۲۵	۰/۰۰۵۷	۳۲۳/۰۰	۰/۱۰	۰/۹۵
۰/۰۶	۰/۰۰۵۵	۱۷۵/۷۸	۰/۰۰۵۱	۲۳۹/۷۰	۰/۰۰۶۹	۳۱۹/۶۰	۰/۱۲	۰/۹۴
۰/۰۷	۰/۰۰۶۴	۱۷۳/۹۱	۰/۰۰۶۰	۲۳۷/۱۵	۰/۰۰۸۰	۳۱۶/۲۰	۰/۱۴	۰/۹۳
۰/۰۸	۰/۰۰۷۳	۱۷۲/۰۴	۰/۰۰۶۸	۲۳۴/۶۰	۰/۰۰۹۲	۳۱۲/۸۰	۰/۱۶	۰/۹۲
۰/۰۹	۰/۰۰۸۲	۱۷۰/۱۷	۰/۰۰۷۷	۲۳۲/۰۵	۰/۰۱۰۳	۳۰۹/۴۰	۰/۱۸	۰/۹۱
۰/۱۰	۰/۰۰۹۲	۱۶۸/۳۰	۰/۰۰۸۵	۲۲۹/۵۰	۰/۰۱۱۵	۳۰۶/۰۰	۰/۲۰	۰/۹۰
۰/۱۱	۰/۰۱۰۱	۱۶۶/۴۳	۰/۰۰۹۴	۲۲۶/۹۵	۰/۰۱۲۶	۳۰۲/۶۰	۰/۲۲	۰/۸۹
۰/۱۲	۰/۰۱۱۰	۱۶۴/۵۶	۰/۰۱۰۲	۲۲۴/۴۰	۰/۰۱۳۸	۲۹۹/۲۰	۰/۲۴	۰/۸۸
۰/۱۳	۰/۰۱۱۹	۱۶۲/۶۹	۰/۰۱۱۱	۲۲۱/۸۵	۰/۰۱۴۹	۲۹۵/۸۰	۰/۲۶	۰/۸۷
۰/۱۴	۰/۰۱۲۸	۱۶۰/۸۲	۰/۰۱۱۹	۲۱۹/۳۰	۰/۰۱۶۱	۲۹۲/۴۰	۰/۲۸	۰/۸۶
۰/۱۵	۰/۰۱۳۷	۱۵۸/۹۵	۰/۰۱۲۸	۲۱۶/۷۵	۰/۰۱۷۲	۲۸۹/۰۰	۰/۳۰	۰/۸۵
۰/۱۶	۰/۰۱۴۶	۱۵۷/۰۸	۰/۰۱۳۶	۲۱۴/۲۰	۰/۰۱۸۴	۲۸۵/۶۰	۰/۳۲	۰/۸۴
۰/۱۷	۰/۰۱۵۶	۱۵۵/۲۱	۰/۰۱۴۵	۲۱۱/۶۵	۰/۰۱۹۵	۲۸۲/۲۰	۰/۳۴	۰/۸۳
۰/۱۸	۰/۰۱۶۵	۱۵۳/۳۴	۰/۰۱۵۳	۲۰۹/۱۰	۰/۰۲۰۷	۲۷۸/۸۰	۰/۳۶	۰/۸۲
۰/۱۹	۰/۰۱۷۴	۱۵۱/۴۷	۰/۰۱۶۲	۲۰۶/۵۵	۰/۰۲۱۸	۲۷۵/۴۰	۰/۳۸	۰/۸۱
۰/۲۰	۰/۰۱۸۳	۱۴۹/۶۰	۰/۰۱۷۰	۲۰۴/۰۰	۰/۰۲۳۰	۲۷۲/۰۰	۰/۴۰	۰/۸۰
۰/۲۱	۰/۰۱۹۲	۱۴۷/۷۳	۰/۰۱۷۹	۲۰۱/۴۵		۲۶۸/۶۰	۰/۴۲	۰/۷۹
۰/۲۲	۰/۰۲۰۱	۱۴۵/۸۶	۰/۰۱۸۷	۱۹۸/۹۰		۲۶۵/۲۰	۰/۴۴	۰/۷۸
۰/۲۳	۰/۰۲۱۰	۱۴۳/۹۹	۰/۰۱۹۶	۱۹۶/۳۵		۲۶۱/۸۰	۰/۴۶	۰/۷۷

خمش ۳-۳) ضرایب لازم برای طرح تیرهای مستطیل شکل و دارای آرماتور فشاری، در حالتی که $f'_s = f_y$ و تیرهای T شکل در حالتیکه $h_f < a$ $f_c = 30\ MPa$

مراجع: بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۱-۳ و ۱۱-۴-۱ و ۱۱-۴-۲-۲ و ۱۱-۵-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

تیر T شکل

$$M_{uf} = A_{sf} . d . a_{nf} \times 10^{-3}$$

d و A_{sf} و M_{uf} به ترتیب بر حسب cm و cm^2 و KN.m می‌باشند.

$$A_{sf} = \frac{k_f . J_f . b_w . h_f}{a_{nf}} \longrightarrow$$ h_f و b_w برحسب cm و

A_{sf} برحسب cm^2 می‌باشند.

f_c بر حسب MPa است $k_f = 0.85\phi_c f_c (\frac{b}{bw} - 1)$

(kf از خمش ۳-۳)

$$J_f = 1 - \frac{h_f}{2d}$$

fy بر حسب MPa است $a_{nf} = \phi_s f_y (1 - \frac{hf}{2d})$

$$A_s = A_{sw} + A_{sf}$$

تیر مستطیل شکل

$$\rho - \rho' \geq 0.85\beta_1 \frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \frac{d'}{d} \frac{600}{600 - f_y}$$

$$M_{u2} = A_{s2} . d . a'_n \times 10^{-3}$$

d و A_{s2} و M_{u2} به ترتیب بر حسب cm و cm^2 و KN.m می‌باشند.

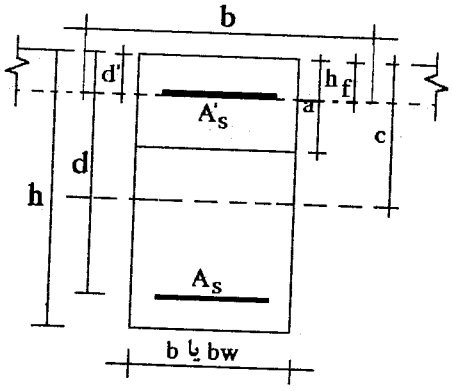
fy بر حسب MPa است $a'_n = \phi_s f_y (1 - \frac{d'}{d})$

$$A'_s = A_{s2} = \frac{M_u - K.F}{d.a'_n} \times 1000 \longrightarrow$$ A's و d بترتیب برحسب

cm و cm^2 می‌باشند.

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$



$f_c = 30$ Mpa

	$f_y = 220$MPa		$f_y = 300$ MPa		$f_y = 400$ MPa			
d'/d	$\rho-\rho'$	a'_n یا a_{nf}	$\rho-\rho'$	a'_n یا a_{nf}	$\rho-\rho'$	a'_n یا a_{nf}	h_f/d	J_f
۰/۰۱	۰/۰۰۰۱۱	۱۸۵/۱۳	۰/۰۰۱۰	۲۵۲/۴۵	۰/۰۰۱۱	۳۳۶/۶۰	۰/۰۲	۰/۹۹
۰/۰۲	۰/۰۰۲۲	۱۸۳/۱۶	۰/۰۰۲۰	۲۴۹/۹۰	۰/۰۰۲۳	۳۳۳/۲۰	۰/۰۴	۰/۹۸
۰/۰۳	۰/۰۰۳۳	۱۸۱/۳۹	۰/۰۰۳۱	۲۴۷/۳۵	۰/۰۰۳۴	۳۲۹/۸۰	۰/۰۶	۰/۹۷
۰/۰۴	۰/۰۰۴۴	۱۷۹/۵۲	۰/۰۰۴۱	۲۴۴/۸۰	۰/۰۰۴۶	۳۲۶/۴۰	۰/۰۸	۰/۹۶
۰/۰۵	۰/۰۰۵۵	۱۷۷/۶۵	۰/۰۰۵۱	۲۴۲/۲۵	۰/۰۰۵۷	۳۲۳/۰۰	۰/۱۰	۰/۹۵
۰/۰۶	۰/۰۰۶۶	۱۷۵/۷۸	۰/۰۰۶۱	۲۳۹/۷۰	۰/۰۰۶۹	۳۱۹/۶۰	۰/۱۲	۰/۹۴
۰/۰۷	۰/۰۰۷۷	۱۷۳/۹۱	۰/۰۰۷۱	۲۳۷/۱۵	۰/۰۰۸۰	۳۱۶/۲۰	۰/۱۴	۰/۹۳
۰/۰۸	۰/۰۰۸۸	۱۷۲/۰۴	۰/۰۰۸۲	۲۳۴/۶۰	۰/۰۰۹۲	۳۱۲/۸۰	۰/۱۶	۰/۹۲
۰/۰۹	۰/۰۰۹۹	۱۷۰/۱۷	۰/۰۰۹۲	۲۳۲/۰۵	۰/۰۱۰۳	۳۰۹/۴۰	۰/۱۸	۰/۹۱
۰/۱۰	۰/۰۱۱۰	۱۶۸/۳۰	۰/۰۱۰۲	۲۲۹/۵۰	۰/۰۱۱۵	۳۰۶/۰۰	۰/۲۰	۰/۹۰
۰/۱۱	۰/۰۱۲۱	۱۶۶/۴۳	۰/۰۱۱۲	۲۲۶/۹۵	۰/۰۱۲۶	۳۰۲/۶۰	۰/۲۲	۰/۸۹
۰/۱۲	۰/۰۱۳۲	۱۶۴/۵۶	۰/۰۱۲۲	۲۲۴/۴۰	۰/۰۱۳۸	۲۹۹/۲۰	۰/۲۴	۰/۸۸
۰/۱۳	۰/۰۱۴۳	۱۶۲/۶۹	۰/۰۱۳۳	۲۲۱/۸۵	۰/۰۱۴۹	۲۹۵/۸۰	۰/۲۶	۰/۸۷
۰/۱۴	۰/۰۱۵۴	۱۶۰/۸۲	۰/۰۱۴۳	۲۱۹/۳۰	۰/۰۱۶۱	۲۹۲/۴۰	۰/۲۸	۰/۸۶
۰/۱۵	۰/۰۱۶۵	۱۵۸/۹۵	۰/۰۱۵۳	۲۱۶/۷۵	۰/۰۱۷۲	۲۸۹/۰۰	۰/۳۰	۰/۸۵
۰/۱۶	۰/۰۱۷۶	۱۵۷/۰۸	۰/۰۱۶۳	۲۱۴/۲۰	۰/۰۱۸۴	۲۸۵/۶۰	۰/۳۲	۰/۸۴
۰/۱۷	۰/۰۱۸۷	۱۵۵/۲۱	۰/۰۱۷۳	۲۱۱/۶۵	۰/۰۱۹۵	۲۸۲/۲۰	۰/۳۴	۰/۸۳
۰/۱۸	۰/۰۱۹۸	۱۵۳/۳۴	۰/۰۱۸۴	۲۰۹/۱۰	۰/۰۲۰۷	۲۷۸/۸۰	۰/۳۶	۰/۸۲
۰/۱۹	۰/۰۲۰۹	۱۵۱/۴۷	۰/۰۱۹۴	۲۰۶/۵۵	۰/۰۲۱۸	۲۷۵/۴۰	۰/۳۸	۰/۸۱
۰/۲۰	۰/۰۲۲۰	۱۴۹/۶۰	۰/۰۲۰۴	۲۰۴/۰۰	۰/۰۲۳۰	۲۷۲/۰۰	۰/۴۰	۰/۸۰
۰/۲۱	۰/۰۲۳۱	۱۴۷/۷۳	۰/۰۲۱۴	۲۰۱/۴۵		۲۶۸/۶۰	۰/۴۲	۰/۷۹
۰/۲۲	۰/۰۲۴۲	۱۴۵/۸۶	۰/۰۲۲۴	۱۹۸/۹۰		۲۶۵/۲۰	۰/۴۴	۰/۷۸
۰/۲۳	۰/۰۲۵۳	۱۴۳/۹۹	۰/۰۲۳۵	۱۹۶/۳۵		۲۶۱/۸۰	۰/۴۶	۰/۷۷

f_c = 30 Mpa

f_y = 220MPa			f_y = 300 MPa		f_y = 400 MPa			
d'/d	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	h_f/d	J_f
۰/۲۴	۰/۰۲۶۳	۱۴۲/۱۲	۰/۰۲۴۵	۱۹۳/۸۰		۲۵۸/۴۰	۰/۴۸	۰/۷۶
۰/۲۵	۰/۰۲۷۵	۱۴۰/۲۰	۰/۰۲۵۵	۱۹۰/۸۵۸		۲۵۵/۰۰	۰/۵۰	۰/۷۵
۰/۲۶	۰/۰۲۸۶	۱۳۸/۳۸	۰/۰۲۶۵	۱۸۸/۷۰		۲۵۱/۶۰	۰/۵۲	۰/۷۴
۰/۲۷	۰/۰۲۹۶	۱۳۶/۵۱	۰/۰۲۷۵	۱۸۶/۱۵		۲۴۸/۲۰	۰/۵۴	۰/۷۳
۰/۲۸	۰/۰۳۰۷	۱۳۴/۶۴	۰/۰۲۸۶	۱۸۳/۶۰		۲۴۴/۸۰	۰/۵۶	۰/۷۲
۰/۲۹	۰/۰۳۱۸	۱۳۲/۷۷	۰/۰۲۹۶	۱۸۱/۰۵		۲۴۱/۴۰	۰/۵۸	۰/۷۱
۰/۳۰	۰/۰۳۲۹	۱۳۰/۹۰	۰/۰۳۰۶	۱۷۸/۵۰		۲۳۸/۰۰	۰/۶۰	۰/۷۰
۰/۳۱	۰/۰۳۴۰	۱۲۹/۰۳	۰/۰۳۱۶	۱۷۵/۹۵		۲۳۴/۶۰	۰/۶۲	۰/۶۹
۰/۳۲	۰/۰۳۵۱	۱۲۷/۱۶	۰/۰۳۲۶	۱۷۳/۴۰		۲۳۱/۲۰	۰/۶۴	۰/۶۸
۰/۳۳	۰/۰۳۶۲	۱۲۵/۲۹	۰/۰۳۳۷	۱۷۰/۸۵		۲۲۷/۸۰	۰/۶۶	۰/۶۷
۰/۳۴	۰/۰۳۷۳	۱۲۳/۴۲	۰/۰۳۴۷	۱۶۸/۳۰		۲۲۴/۴۰	۰/۶۸	۰/۶۶
۰/۳۵	۰/۰۳۸۴	۱۲۱/۵۵		۱۶۵/۷۵		۲۲۱/۰۰	۰/۷۰	۰/۶۵
۰/۳۶	۰/۰۳۹۵	۱۱۹/۶۸		۱۶۳/۲۰		۲۱۷/۶۰	۰/۷۲	۰/۶۴
۰/۳۷	۰/۰۴۰۶	۱۱۷/۸۱		۱۶۰/۶۵		۲۱۴/۲۰	۰/۷۴	۰/۶۳
۰/۳۸	۰/۰۴۱۷	۱۱۵/۹۴		۱۵۸/۱۰		۲۱۰/۸۰	۰/۷۶	۰/۶۲
۰/۳۹	۰/۰۴۲۸	۱۱۴/۰۷		۱۵۵/۵۵		۲۰۷/۴۰	۰/۷۸	۰/۶۱
۰/۴۰	۰/۰۴۳۹	۱۱۲/۲۰		۱۵۳/۰۰		۲۰۴/۰۰	۰/۸۰	۰/۶۰
۰/۴۱	۰/۰۴۵۰	۱۱۰/۳۳		۱۵۰/۴۵		۲۰۰/۶۰	۰/۸۲	۰/۵۹
۰/۴۲	۰/۰۴۶۱	۱۰۸/۴۶		۱۴۷/۹۰		۱۹۷/۲۰	۰/۸۴	۰/۵۸
۰/۴۳	۰/۰۴۷۲	۱۰۶/۵۹		۱۴۵/۳۵		۱۹۳/۸۰	۰/۸۶	۰/۵۷
۰/۴۴	۰/۰۴۸۳	۱۰۴/۷۲		۱۴۲/۸۰		۱۹۰/۴۰	۰/۸۸	۰/۵۶
۰/۴۵	۰/۰۴۹۴	۱۰۲/۸۵		۱۴۰/۲۵		۱۸۷/۰۰	۰/۹۰	۰/۵۵
۰/۴۶	۰/۰۵۰۵	۱۰۰/۹۸		۱۳۷/۷۰		۱۹۳/۶۰	۰/۹۲	۰/۵۴

خمش ۳-۴) ضرایب لازم برای طرح تیرهای مستطیل شکل و دارای آرماتور فشاری، در حالتی که $f'_s = f_y$ و تیرهای T شکل در حالتیکه $h_f < a$ $f_c = 35\ MPa$

مراجع: بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۱-۳ و ۱۱-۴-۱ و ۱۱-۴-۲-۲ و ۱۱-۵-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

تیر T شکل

$M_{uf} = A_{sf} . d . a_{nf} \times 10^{-3}$

M_{uf} و A_{sf} و d به ترتیب بر حسب cm و cm^2 و KN.m می‌باشند.

$A_{sf} = \frac{k_f . J_f . b_w . h_f}{a_{nf}} \longrightarrow$ h_f و b_w بترتیب برحسب cm و A_{sf} بر حسب cm^2 می‌باشند.

$k_f = 0.85\phi_c f_c (\frac{b}{bw} - 1)$ f_c بر حسب MPa است

(kf از خمش ۳-۳)

$J_f = 1 - \frac{h_f}{2d}$

$a_{nf} = \phi_s f_y (1 - \frac{hf}{2d})$ fy بر حسب MPa است

$A_s = A_{sw} + A_{sf}$

تیر مستطیل شکل

$\rho - \rho' \geq 0.85\beta_1 \frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \frac{d'}{d} \frac{600}{600 - f_y}$

$M_{u2} = A_{s2} . d . a'_n \times 10^{-3}$

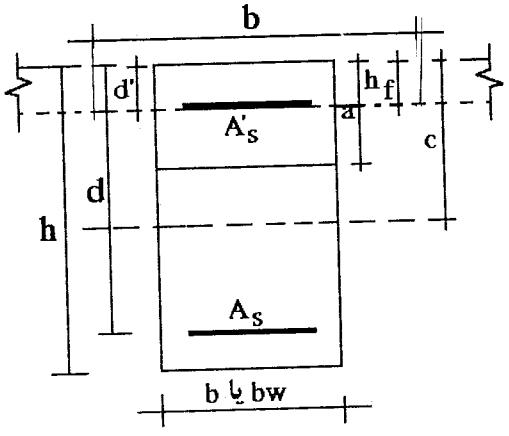
M_{u2} و A_{sf} و d به ترتیب بر حسب cm و cm^2 و KN.m می‌باشند.

$a'_n = \phi_s f_y (1 - \frac{d'}{d})$ fy بر حسب MPa است

$A'_s = A_{s2} = \frac{M_u - K.F}{d.a'_n} \times 1000 \longrightarrow$ A's و d بترتیب برحسب cm و cm^2 می‌باشند.

$A_s = A_{s1} + A_{s2}$

$\rho = \frac{A_s}{bd}$



f_c = 35 Mpa

	f_y = 220MPa		f_y = 300 Mpa		f_y = 400 MPa			
d'/d	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	h_f/d	J_f
۰/۰۱	۰/۰۰۲۲	۱۸۵/۱۳	۰/۰۰۱۱	۲۵۲/۴۵	۰/۰۰۱۳	۳۳۶/۶۰	۰/۰۲	۰/۹۹
۰/۰۲	۰/۰۰۲۴	۱۸۳/۱۶	۰/۰۰۲۴	۲۴۹/۹۰	۰/۰۰۲۶	۳۳۳/۲۰	۰/۰۴	۰/۹۸
۰/۰۳	۰/۰۰۳۷	۱۸۱/۳۹	۰/۰۰۳۴	۲۴۷/۳۵	۰/۰۰۳۸	۳۲۹/۸۰	۰/۰۶	۰/۹۷
۰/۰۴	۰/۰۰۴۹	۱۷۹/۵۲	۰/۰۰۴۵	۲۴۴/۸۰	۰/۰۰۵۱	۳۲۶/۴۰	۰/۰۸	۰/۹۶
۰/۰۵	۰/۰۰۶۱	۱۷۷/۶۵	۰/۰۰۵۷	۲۴۲/۲۵	۰/۰۰۶۴	۳۲۲/۰۰	۰/۱۰	۰/۹۵
۰/۰۶	۰/۰۰۷۳	۱۷۵/۷۸	۰/۰۰۶۸	۲۳۹/۷۰	۰/۰۰۷۷	۳۱۹/۶۰	۰/۱۲	۰/۹۴
۰/۰۷	۰/۰۰۸۵	۱۷۳/۹۱	۰/۰۰۷۹	۲۳۷/۱۵	۰/۰۰۸۹	۳۱۶/۲۰	۰/۱۴	۰/۹۳
۰/۰۸	۰/۰۰۹۸	۱۷۲/۰۴	۰/۰۰۹۱	۲۳۴/۶۰	۰/۰۱۰۲	۳۱۲/۸۰	۰/۱۶	۰/۹۲
۰/۰۹	۰/۰۱۱۰	۱۷۰/۱۷	۰/۰۱۰۲	۲۳۲/۰۵	۰/۰۱۱۵	۳۰۹/۴۰	۰/۱۸	۰/۹۱
۰/۱۰	۰/۰۱۲۱	۱۶۸/۳۰	۰/۰۱۱۳	۲۲۹/۵۰	۰/۰۱۲۸	۳۰۶/۰۰	۰/۲۰	۰/۹۰
۰/۱۱	۰/۰۱۳۴	۱۶۶/۴۳	۰/۰۱۲۵	۲۲۶/۹۵	۰/۰۱۴۰	۳۰۲/۶۰	۰/۲۲	۰/۸۹
۰/۱۲	۰/۰۱۴۶	۱۶۴/۵۶	۰/۰۱۳۶	۲۲۴/۴۰	۰/۰۱۵۳	۲۹۹/۲۰	۰/۲۴	۰/۸۸
۰/۱۳	۰/۰۱۵۹	۱۶۲/۶۹	۰/۰۱۴۷	۲۲۱/۸۵	۰/۰۱۶۶	۲۹۵/۸۰	۰/۲۶	۰/۸۷
۰/۱۴	۰/۰۱۷۱	۱۶۰/۸۲	۰/۰۱۵۹	۲۱۹/۳۰	۰/۰۱۷۹	۲۹۲/۴۰	۰/۲۸	۰/۸۶
۰/۱۵	۰/۰۱۸۳	۱۵۸/۹۵	۰/۰۱۷۰	۲۱۶/۷۵	۰/۰۱۹۱	۲۸۹/۰۰	۰/۳۰	۰/۸۵
۰/۱۶	۰/۰۱۹۵	۱۵۷/۰۸	۰/۰۱۸۱	۲۱۴/۲۰	۰/۰۲۰۴	۲۸۵/۶۰	۰/۳۲	۰/۸۴
۰/۱۷	۰/۰۲۰۸	۱۵۵/۲۱	۰/۰۱۹۳	۲۱۱/۶۵	۰/۰۲۱۷	۲۸۲/۲۰	۰/۳۴	۰/۸۳
۰/۱۸	۰/۰۲۲۰	۱۵۳/۳۴	۰/۰۲۰۴	۲۰۹/۱۰	۰/۰۲۳۰	۲۷۸/۸۰	۰/۳۶	۰/۸۲
۰/۱۹	۰/۰۲۳۲	۱۵۱/۴۷	۰/۰۲۱۵	۲۰۶/۵۵	۰/۰۲۴۲	۲۷۵/۴۰	۰/۳۸	۰/۸۱
۰/۲۰	۰/۰۲۴۴	۱۴۹/۶۰	۰/۰۲۲۷	۲۰۴/۰۰	۰/۰۲۵۵	۲۷۲/۰۰	۰/۴۰	۰/۸۰
۰/۲۱	۰/۰۲۵۶	۱۴۷/۷۳	۰/۰۲۳۸	۲۰۱/۴۵		۲۶۸/۶۰	۰/۴۲	۰/۷۹
۰/۲۲	۰/۰۲۶۹	۱۴۵/۸۶	۰/۰۲۴۹	۱۹۸/۹۰		۲۶۵/۲۰	۰/۴۴	۰/۷۸
۰/۲۳	۰/۰۲۸۲	۱۴۳/۹۹	۰/۰۲۶۱	۱۹۶/۳۵		۲۶۱/۸۰	۰/۴۶	۰/۷۷

f_c = 35 Mpa								
	f_y = 220MPa		f_y = 300 MPa		f_y = 400 MPa			
d'/d	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	ρ-ρ'	a'n یا a_{nf}	ρ-ρ	a'n یا a_{nf}	h_f/d	J_f
۰/۲۴	۰/۰۲۹۳	۱۴۲/۱۲	۰/۰۲۷۲	۱۹۳/۸۰		۲۵۸/۴۰	۰/۴۸	۰/۷۶
۰/۲۵	۰/۰۳۰۵	۱۴۰/۲۰	۰/۰۲۸۴	۱۹۰/۸۵۸		۲۵۵/۰۰	۰/۵۰	۰/۷۵
۰/۲۶	۰/۰۳۱۷	۱۳۸/۳۸	۰/۰۲۹۵	۱۸۸/۷۰		۲۵۱/۶۰	۰/۵۲	۰/۷۴
۰/۲۷	۰/۰۳۳۰	۱۳۶/۵۱	۰/۰۳۰۶	۱۸۶/۱۵		۲۴۸/۲۰	۰/۵۴	۰/۷۳
۰/۲۸	۰/۰۳۴۲	۱۳۴/۶۴	۰/۰۳۱۸	۱۸۳/۶۰		۲۴۴/۸۰	۰/۵۶	۰/۷۲
۰/۲۹	۰/۰۳۵۴	۱۳۲/۷۷	۰/۰۳۲۹	۱۸۱/۰۵		۲۴۱/۴۰	۰/۵۸	۰/۷۱
۰/۳۰	۰/۰۳۶۶	۱۳۰/۹۰	۰/۰۳۴۰	۱۷۸/۵۰		۲۳۸/۰۰	۰/۶۰	۰/۷۰
۰/۳۱	۰/۰۳۷۸	۱۲۹/۰۳	۰/۰۳۵۲	۱۷۵/۹۵		۲۳۴/۶۰	۰/۶۲	۰/۶۹
۰/۳۲	۰/۰۳۹۱	۱۲۷/۱۶	۰/۰۳۶۳	۱۷۳/۴۰		۲۳۱/۲۰	۰/۶۴	۰/۶۸
۰/۳۳	۰/۰۴۰۴	۱۲۵/۲۹	۰/۰۳۷۴	۱۷۰/۸۵		۲۲۷/۸۰	۰/۶۶	۰/۶۷
۰/۳۴	۰/۰۳۱۵	۱۲۳/۴۲		۱۶۸/۳۰		۲۲۴/۴۰	۰/۶۸	۰/۶۶
۰/۳۵	۰/۰۴۲۷	۱۲۱/۵۵		۱۶۵/۷۵		۲۲۱/۰۰	۰/۷۰	۰/۶۵
۰/۳۶	۰/۰۴۳۹	۱۱۹/۶۸		۱۶۳/۲۰		۲۱۷/۶۰	۰/۷۲	۰/۶۴
۰/۳۷	۰/۰۴۵۲	۱۱۷/۸۱		۱۶۰/۶۵		۲۱۴/۲۰	۰/۷۴	۰/۶۳
۰/۳۸	۰/۰۴۶۴	۱۱۵/۹۴		۱۵۸/۱۰		۲۱۰/۸۰	۰/۷۶	۰/۶۲
۰/۳۹	۰/۰۴۷۶	۱۱۴/۰۷		۱۵۵/۵۵		۲۰۷/۴۰	۰/۷۸	۰/۶۱
۰/۴۰	۰/۰۴۸۸	۱۱۲/۲۰		۱۵۳/۰۰		۲۰۴/۰۰	۰/۸۰	۰/۶۰
۰/۴۱	۰/۰۵۰۱	۱۱۰/۳۳		۱۵۰/۴۵		۲۰۰/۶۰	۰/۸۲	۰/۵۹
۰/۴۲	۰/۰۵۱۳	۱۰۸/۴۶		۱۴۷/۹۰		۱۹۷/۲۰	۰/۸۴	۰/۵۸
۰/۴۳	۰/۰۵۲۵	۱۰۶/۵۹		۱۴۵/۳۵		۱۹۳/۸۰	۰/۸۶	۰/۵۷
۰/۴۴	۰/۰۵۳۷	۱۰۴/۷۲		۱۴۲/۸۰		۱۹۰/۴۰	۰/۸۸	۰/۵۶
۰/۴۵	۰/۰۵۴۹	۱۰۲/۸۵		۱۴۰/۲۵		۱۸۷/۰۰	۰/۹۰	۰/۵۵
۰/۴۶	۰/۰۵۶۲	۱۰۰/۹۸		۱۳۷/۷۰		۱۹۳/۶۰	۰/۹۲	۰/۵۴

خمش ۳-۵) ضریب k_f برای محاسبه A_{sf} در یک تیر T شکل در حالتیکه $(h_f < a)$

مراجع: بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۱-۳ و ۱۱-۴-۱ و ۱۱-۵-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

$$A_{sf} = \frac{k_f . J_f . b_w . h_f}{a_{nf}} \qquad cm^2$$

$$K_f = 0.85\phi_c f_c (\frac{b}{b_w} - 1)$$

$$J_f = 1 - \frac{h_f}{2d}$$

$$a_{nf} = \phi_s f_y (1 - \frac{h_f}{2d})$$

(J_f و a_{nf} در خمش ۳-۱ و ۳-۲ موجود می‌باشند)

b/b_w	$f_c = 20$ Mpa	$f_c = 25$ Mpa	$f_c = 30$ Mpa	$f_c = 35$ Mpa
۲/۰	۱۰/۲۰	۱۲/۷۵	۱۵/۳۰	۱۷/۸۵
۲/۲	۱۲/۲۴	۱۵/۳۰	۱۸/۳۶	۲۱/۴۲
۲/۴	۱۴/۲۸	۱۷/۸۵	۲۱/۴۲	۲۴/۹۹
۲/۶	۱۶/۳۲	۲۰/۴۰	۲۴/۴۸	۲۸/۵۶
۲/۸	۱۸/۳۶	۲۲/۹۵	۲۷/۵۴	۳۲/۱۳
۳/۰	۲۰/۴۰	۲۵/۵۰	۳۰/۶۰	۳۵/۷۰
۳/۲	۲۲/۴۴	۲۸/۰۵	۳۳/۶۶	۳۹/۲۷
۳/۴	۲۴/۴۸	۳۰/۶۰	۳۶/۷۲	۴۲/۸۴
۳/۶	۲۶/۵۲	۳۳/۱۵	۳۹/۷۸	۴۶/۴۱
۳/۸	۲۸/۵۶	۳۵/۷۰	۴۲/۸۴	۴۹/۹۸
۴/۰	۳۰/۶۰	۳۸/۲۵	۴۵/۹۰	۵۳/۵۵
۴/۲	۳۲/۶۴	۴۰/۸۰	۴۸/۹۶	۵۷/۱۲
۴/۴	۳۴/۶۸	۴۳/۳۵	۵۲/۰۲	۶۰/۶۹
۴/۶	۳۶/۷۲	۴۵/۹۰	۵۵/۰۸	۶۴/۲۶
۴/۸	۳۸/۷۶	۴۸/۴۵	۵۸/۱۴	۶۷/۸۳
۵/۰	۴۰/۸۰	۵۱/۰۰	۶۱/۲۰	۷۱/۴۰
۵/۲	۴۲/۸۴	۵۳/۵۵	۶۴/۲۶	۷۴/۹۷
۵/۴	۴۴/۸۸	۵۶/۱۰	۶۷/۳۲	۷۸/۵۴
۵/۶	۴۶/۹۲	۵۸/۶۵	۷۰/۳۸	۸۲/۱۱

b/b_w	f_c = 20 Mpa	f_c = 25 Mpa	f_c = 30 Mpa	f_c = 35 Mpa
۵/۸	۴۸/۹۶	۶۱/۲۰	۷۳/۴۴	۸۵/۶۸
۶/۰	۵۱/۰۰	۶۳/۷۵	۷۶/۵۰	۸۹/۲۵
۶/۲	۵۳/۰۴	۶۶/۳۰	۷۹/۵۶	۹۲/۸۲
۶/۴	۵۵/۰۸	۶۸/۸۵	۸۲/۶۲	۹۶/۳۹
۶/۶	۵۶/۱۲	۷۱/۴۰	۸۵/۶۸	/۹۹۹۶
۶/۸	۵۹/۱۶	۷۳/۹۵	۸۸/۷۴	۱۰۳/۵۳
۷/۰	۶۱/۲۰	۷۶/۵۰	۹۱/۸۰	۱۰۷/۱۰
۷/۲	۶۳/۲۴	۷۹/۰۵	۹۴/۸۶	۱۱۰/۶۷
۷/۴	۶۵/۲۸	۸۱/۶۰	۹۷/۹۲	۱۱۴/۲۴
۷/۶	۶۷/۳۲	۸۴/۱۵	۱۰۰/۹۸	۱۱۷/۸۱
۷/۸	۶۹/۳۶	۸۶/۷۰	۱۰۴/۰۴	۱۲۱/۳۸
۸/۰	۷۱/۴۰	۸۹/۲۵	۱۰۷/۱۰	۱۲۴/۹۵
۸/۲	۷۳/۴۴	۹۱/۸۰	۱۱۰/۱۶	۱۲۸/۵۲
۸/۴	۸۷۵/۴	۹۴/۳۵	۱۱۳/۲۲	۱۳۲/۰۹
۸/۶	۷۷/۵۲	۹۶/۹۰	۱۱۶/۲۸	۱۳۵/۶۶
۸/۸	۷۹/۵۶	۹۹/۴۵	۱۱۹/۳۴	۱۳۹/۲۳
۹/۰	۸۱/۶۰	۱۰۲/۰۰	۱۲۲/۴۰	۱۴۲/۸۰
۹/۲	۸۳/۶۴	۱۰۴/۵۵	۱۲۵/۴۶	۱۴۶/۳۷
۹/۴	۸۵/۶۸	۱۰۷/۱۰	۱۲۸/۵۲	۱۴۹/۹۴
۹/۶	۸۷/۷۲	۱۰۹/۶۵	۱۳۱/۵۸	۱۵۳/۵۱
۹/۸	۸۹/۷۶	۱۱۲/۲۰	۱۳۴/۶۴	۱۵۷/۰۸

خمش ۴) ضریب a''_n برای تیرهای مستطیل شکل و دارای آرماتور فشاری در حالتیکه $f'_s < f_y$

مراجع: بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۱-۳ و ۱۱-۴-۱ ۱۱-۴-۲ و ۱۱-۵-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

$$a''_n = \frac{M_{u2}}{A'_s d} = \phi_s \times 600 \times (1 - \frac{d'}{d})(1 - \frac{d'/d}{x/d}) \qquad \text{MPa}$$

x/d	d'/d											
	۰/۰۲۵	۰/۰۵	۰/۰۷۵	۰/۱۰۰	۰/۱۲۵	۰/۱۵۰	۰/۱۷۵	۰/۲۰۰	۰/۲۲۵	۰/۲۵۰	۰/۲۷۵	۰/۳۰۰
۰/۰۴	۱۸۶/۴۸	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
۰/۰۵	۲۴۸/۶۳	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
۰/۰۶	۲۹۰/۰۶	۸۰/۷۵	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
۰/۰۷	۳۱۹/۶۶	۱۳۸/۴۳	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
۰/۰۸	۳۴۱/۸۶	۱۸۱/۶۹	۲۹/۴۸	–	–	–	–	–	–	–	–	–
۰/۰۹	۳۵۹/۱۳	۲۱۵/۳۳	۷۸/۶۳	–	–	–	–	–	–	–	–	–
۰/۱۰	۳۷۲/۹۴	۲۴۲/۲۵	۱۱۷/۹۴	–	–	–	–	–	–	–	–	–
۰/۱۱	۳۸۴/۲۴	۲۶۴/۲۷	۱۵۰/۱۰	۴۱/۷۳	–	–	–	–	–	–	–	–
۰/۱۲	۳۹۳/۶۶	۲۸۲/۶۳	۱۷۶/۹۱	۹۶/۵۰	–	–	–	–	–	–	–	–
۰/۱۳	۴۰۱/۶۳	۲۹۸/۱۵	۱۹۹/۵۹	۱۰۵/۹۱	۱۷/۱۶	–	–	–	–	–	–	–
۰/۱۴	۴۰۸/۴۶	۳۱۱/۴۶	۲۱۹/۰۳	۱۳۹/۱۴	۴۷/۸۱	–	–	–	–	–	–	–
۰/۱۵	۴۱۴/۳۸	۳۲۳/۰۰	۲۳۵/۸۸	۱۵۳/۰۰	۷۴/۳۸	–	–	–	–	–	–	–
۰/۱۶	۴۱۹/۵۵	۳۳۳/۰۹	۲۵۰/۶۲	۱۷۲/۱۳	۹۷/۶۲	۲۷/۰۹	–	–	–	–	–	–
۰/۱۷	۴۲۴/۱۳	۳۴۲/۰۰	۲۶۳/۶۳	۱۸۲/۰۰	۱۱۸/۱۳	۵۱/۰۰	–	–	–	–	–	–
۰/۱۸	۴۲۸/۱۹	۳۴۹/۹۲	۲۷۵/۱۹	۲۰۴/۰۰	۱۳۶/۳۵	۷۲/۲۵	۱۱/۶۹	–	–	–	–	–
۰/۱۹	۴۳۱/۸۲	۳۵۷/۰۰	۲۸۵/۵۳	۲۱۷/۴۲	۱۵۲/۶۶	۹۱/۲۶	۳۳/۲۲	–	–	–	–	–
۰/۲۰	۴۳۵/۰۹	۳۶۳/۳۸	۲۹۴/۸۴	۲۲۹/۵۰	۱۶۷/۳۴	۱۰۸/۳۸	۵۲/۵۹	–	–	–	–	–
۰/۲۱	۴۳۸/۰۵	۳۶۹/۱۴	۳۰۳/۲۷	۲۴۰/۴۳	۱۸۰/۶۳	۱۲۳/۸۶	۷۰/۱۳	۱۹/۴۳	–	–	–	–
۰/۲۲	۴۴۰/۷۴	۳۷۴/۳۹	۳۱۰/۹۳	۲۵۰/۳۶	۱۹۲/۷۰	۱۳۷/۹۳	۸۶/۰۶	۳۷/۰۹	–	–	–	–
۰/۲۳	۴۴۳/۲۰	۳۷۹/۱۷	۳۱۷/۹۲	۲۵۹/۴۳	۲۰۳/۷۲	۱۵۰/۷۸	۱۰۰/۶۱	۵۳/۲۲	۸/۵۹	–	–	–
۰/۲۴	۴۴۵/۴۵	۳۸۳/۵۶	۳۲۴/۳۳	۲۶۷/۷۵	۲۱۳/۸۳	۱۶۲/۵۶	۱۱۳/۹۵	۶۸/۰۰	۲۴/۷۰	–	–	–
۰/۲۵	۴۴۷/۵۳	۳۸۷/۶۰	۳۳۰/۲۳	۲۷۵/۴۰	۲۲۳/۱۳	۱۷۳/۴۰	۱۲۶/۲۳	۸۱/۶۰	۳۹/۵۳	–	–	–
۰/۲۶	۴۴۹/۴۴	۳۹۱/۳۳	۳۳۵/۶۷	۲۸۱/۴۶	۲۳۱/۷۱	۱۸۳/۴۰	۱۳۷/۵۵	۹۴/۱۵	۵۳/۲۱	۱۴/۷۱	–	–
۰/۲۷	۴۵۱/۲۱	۳۹۴/۷۸	۳۴۰/۷۱	۲۸۹/۰۰	۲۳۹/۶۵	۱۹۲/۶۷	۱۴۸/۰۴	۱۰۵/۷۸	۶۵/۸۸	۲۸/۳۳	–	–

x/d	d'/d											
	۰/۰۲۵	۰/۰۵	۰/۰۷۵	۰/۱۰۰	۰/۱۲۵	۰/۱۵۰	۰/۱۷۵	۰/۲۰۰	۰/۲۲۵	۰/۲۵۰	۰/۲۷۵	۰/۳۰۰
۰/۲۸	۴۵۲/۸۵	۳۹۷/۹۸	۳۴۵/۳۹	۲۹۵/۰۷	۲۴۷/۰۳	۲۰۱/۲۷	۱۵۷/۷۸	۱۱۶/۵۷	۷۷/۶۴	۴۰/۹۸	۶/۶۰	–
۰/۲۹	۴۵۴/۳۸	۴۰۰/۹۷	۳۴۹/۷۵	۳۰۰/۷۲	۲۵۲/۹۰	۲۰۹/۰۸	۱۶۶/۸۵	۳۶/۶۲	۸۸/۵۹	۵۲/۷۶	۱۹/۱۳	–
۰/۳۰	۴۵۵/۸۱	۴۰۳/۷۵	۳۵۳/۸۱	۳۰۶/۰۰	۲۶۰/۳۹	۲۱۹/۷۵	۱۷۵/۳۱	۱۳۶/۰۰	۹۸/۸۱	۶۳/۷۵	۳۰/۸۱	–
۰/۳۲	۴۵۸/۴۰	۴۰۸/۸۰	۳۶۱/۱۸	۳۱۵/۵۶	۲۷۷/۹۳	۲۳۰/۳۰	۱۹۰/۶۵	۱۵۳/۰۰	۱۱۷/۳۴	۸۳/۶۷	۵۲/۰۰	۲۲/۳۱
۰/۳۴	۴۶۰/۶۹	۴۱۳/۲۵	۳۶۷/۶۹	۳۲۴/۰۰	۲۸۲/۱۹	۲۴۶/۱۵	۲۰۴/۱۹	۱۶۸/۰۰	۱۳۳/۶۹	۱۰۱/۲۵	۷۰/۶۹	۴۲/۰۰
۰/۳۶	۴۶۲/۷۲	۴۱۷/۹۱	۳۷۳/۴۷	۳۳۱/۵۰	۲۹۱/۳۰	۲۵۳/۸۸	۲۱۶/۲۲	۱۸۱/۳۳	۱۴۸/۲۲	۱۱۶/۸۸	۸۷/۳۰	۵۹/۵۰
۰/۳۸	۴۶۴/۵۴	۴۲۰/۷۵	۳۷۸/۶۴	۳۳۸/۲۹	۲۹۹/۲۶	۲۶۴/۳۸	۲۲۶/۹۸	۱۹۳/۲۶	۱۶۱/۲۲	۱۳۰/۸۶	۱۰۲/۱۷	۷۵/۱۶
۰/۴۰	۴۶۶/۱۷	۴۲۳/۹۴	۳۸۳/۳۰	۳۴۴/۲۵	۳۰۶/۸۰	۲۷۰/۹۴	۲۳۶/۶۷	۲۰۴/۰۰	۱۷۲/۹۲	۱۴۳/۴۴	۱۱۵/۵۵	۸۹/۲۵
۰/۴۲	۴۶۷/۶۵	۴۲۶/۸۲	۳۸۷/۵۱	۳۴۹/۷۱	۳۱۲/۴۲	۲۷۸/۶۸	۲۴۵/۴۴	۲۱۳/۷۱	۱۸۳/۵۱	۱۵۴/۸۲	۱۲۷/۶۵	۱۰۲/۰۰
۰/۴۴	۴۶۹/۰۰	۴۲۹/۴۴	۳۹۱/۳۴	۳۵۴/۶۸	۳۱۹/۴۷	۲۸۵/۷۲	۲۵۳/۴۱	۲۲۲/۵۵	۱۹۳/۱۳	۱۶۵/۱۷	۱۳۸/۶۶	۱۱۳/۵۹
۰/۴۶	۴۷۰/۲۳	۴۳۱/۸۴	۳۹۲/۸۳	۳۵۹/۱۲	۳۲۴/۹۹	۲۹۲/۱۴	۲۶۰/۶۸	۲۳۰/۶۱	۲۰۱/۹۲	۱۷۴/۶۲	۱۴۸/۷۰	۱۲۴/۱۷
۰/۴۸	۴۷۱/۳۵	۴۳۴/۰۳	۳۹۸/۰۴	۳۶۳/۳۸	۳۳۶/۰۴	۲۹۸/۰۳	۲۶۷/۳۵	۲۳۸/۰۰	۲۰۹/۹۸	۱۸۳/۲۸	۱۵۷/۹۱	۱۳۳/۸۸
۰/۵۰	۴۷۲/۳۹	۴۳۶/۰۵	۴۰۰/۹۹	۳۶۷/۷۲	۳۳۴/۶۹	۳۰۳/۴۵	۲۷۳/۴۹	۲۴۴/۸۰	۲۱۷/۳۹	۱۹۱/۲۵	۱۶۶/۳۹	۱۴۲/۸۰
۰/۵۲	۴۷۳/۳۴	۴۳۷/۹۱	۴۰۳/۷۱	۳۷۰/۷۳	۳۳۸/۹۸	۳۰۸/۴۵	۲۷۹/۱۵	۲۵۱/۰۸	۲۲۴/۲۳	۱۹۸/۶۱	۱۷۴/۲۱	۱۵۱/۰۴
۰/۵۴	۴۷۴/۲۳	۴۳۹/۶۴	۴۰۶/۱۳	۳۷۴/۰۰	۳۴۲/۹۵	۳۱۳/۰۸	۲۸۴/۴۰	۲۵۶/۸۹	۲۳۰/۵۶	۲۰۵/۴۲	۱۸۱/۴۵	۱۵۸/۶۷
۰/۵۶	۴۷۵/۰۵	۴۴۱/۲۴	۴۰۸/۵۷	۳۷۷/۰۴	۳۴۶/۶۴	۳۱۷/۳۸	۲۸۹/۲۷	۲۶۲/۲۹	۲۳۶/۴۴	۲۱۱/۷۴	۱۸۸/۱۸	۱۶۵/۷۵
۰/۵۸	۴۷۵/۸۲	۴۴۲/۷۳	۴۱۰/۷۵	۳۷۹/۸۶	۳۵۰/۰۸	۳۲۱/۳۹	۲۹۳/۸۰	۲۶۷/۳۱	۲۴۱/۹۲	۲۱۷/۶۳	۱۹۴/۴۴	۱۷۲/۳۴
۰/۶۰	۴۷۶/۵۳	۴۴۴/۱۳	۴۱۲/۷۸	۳۸۲/۵۰	۳۵۲/۲۸	۳۲۵/۱۳	۲۹۸/۰۳	۲۷۲/۰۰	۲۴۷/۰۳	۲۲۳/۱۳	۲۰۰/۲۸	۱۷۸/۵۰
۰/۶۲	۴۷۷/۲۰	۴۴۵/۴۳	۴۱۴/۶۸	۹۷۳۸۴	۳۵۶/۲۸	۳۲۸/۶۲	۳۰۱/۹۹	۲۷۶/۳۹	۲۵۱/۸۱	۲۲۸/۲۷	۲۰۵/۷۵	۱۸۴/۲۶
۰/۶۴	۴۷۷/۸۳	۴۴۶/۶۵	۴۱۶/۴۷	۳۸۷/۲۸	۳۵۹/۰۹	۳۳۱/۹۰	۳۰۵/۷۰	۲۸۰/۵۰	۲۵۶/۲۹	۲۳۳/۰۹	۲۱۰/۸۷	۱۸۹/۶۶
۰/۶۶	۴۷۸/۴۱	۴۴۷/۸۰	۴۱۸/۱۴	۳۸۹/۴۵	۳۶۱/۷۳	۳۳۴/۹۸	۳۰۹/۱۹	۲۸۴/۳۶	۲۶۰/۵۱	۲۳۷/۶۱	۲۱۵/۶۹	۱۹۴/۷۳
۰/۶۸	۴۷۸/۹۷	۴۴۸/۸۸	۴۱۹/۷۲	۳۹۱/۵۰	۳۶۴/۲۲	۳۳۷/۸۸	۳۱۲/۴۷	۲۸۸/۰۰	۲۶۴/۴۷	۲۴۱/۸۸	۲۲۰/۲۲	۱۹۹/۵۰

خمش ۵-۱) تعیین لنگر مقاوم خمشی Mu برای عرض یک متر. $f_c = 20\ MPa$

مراجع: بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۱-۳ و ۱۱-۴-۱ و ۱۱-۵-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

$$M_u = \phi_s \rho d^2 f_y \times (1 - 0.59\rho \frac{\phi_s f_y}{\phi_c f_c}) \times 10^{-1} \qquad KN.m$$

$f_c = 20$ MPa و $f_y = 220$ Mpa

ρ	d = ۶	d = ۸	d = ۱۰	d = ۱۲	d = ۱۴	d = ۱۶	d = ۱۸	d = ۲۰	d = ۲۲	d = ۲۴	d = ۲۶	d = ۲۸	d = ۳۰	d = ۳۲	d = ۳۴	d = ۳۶
۰/۰۰۲	۱/۳۲	۲/۳۵	۳/۶۷	۵/۴۹	۷/۲۰	۹/۴۰	۱۱/۸۹	۱۴/۶۸	۱۷/۷۷	۲۱/۱۵	۲۴/۸۲	۲۸/۷۸	۳۳/۰۴	۳۷/۵۹	۴۲/۴۴	۴۷/۵۷
۰/۰۰۴	۲/۵۹	۴/۶۱	۷/۲۰	۱۰/۳۸	۱۴/۱۲	۱۸/۴۴	۲۳/۳۴	۲۸/۸۲	۳۴/۸۷	۴۱/۵۰	۴۸/۷۱	۵۶/۴۹	۶۴/۸۴	۷۳/۷۸	۸۳/۲۹	۹۳/۳۸
۰/۰۰۶	۳/۸۲	۶/۷۸	۱۰/۶۰	۲۵/۹۷	۲۰/۷۸	۲۷/۱۴	۳۴/۳۵	۴۲/۴۰	۵۱/۳۱	۶۱/۰۶	۷۱/۶۶	۸۳/۱۱	۹۵/۴۱	۱۰۸/۵۵	۱۲۲/۵۵	۱۳۷/۳۹
۰/۰۰۸	۴/۹۹	۸/۸۷	۱۳/۸۶	۱۹/۹۶	۲۷/۱۶	۳۵/۴۸	۴۴/۹۱	۵۵/۴۴	۶۷/۱۰۸	۷۹/۸۳	۹۳/۶۹	۱۰۸/۶۶	۱۲۴/۷۴	۱۴۱/۹۲	۱۶۰/۲۲	۱۷۹/۶۲
۰/۰۱۰	۶/۱۱	۱۰/۸۷	۱۶/۹۸	۲۴/۴۵	۳۳/۲۸	۴۳/۴۷	۵۵/۰۲	۶۷/۹۲	۸۲/۱۹	۹۷/۸۱	۱۱۴/۷۹	۱۳۳/۱۳	۱۵۲/۸۳	۱۷۳/۸۸	۱۹۶/۳۰	۲۲۰/۰۷
۰/۰۱۲	۷/۱۹	۱۲/۷۸	۱۹/۹۶	۲۸/۷۵	۳۹/۱۳	۵۰/۱۱	۶۴/۶۸	۷۹/۸۶	۹۶/۶۳	۱۱۴/۹۹	۱۳۴/۹۶	۱۵۶/۵۲	۱۷۹/۶۸	۲۰۴/۴۳	۲۳۰/۷۹	۲۵۸/۷۴
۰/۰۱۴	۷/۲۱	۱۴/۶۰	۲۲/۸۱	۳۲/۸۵	۴۴/۷۱	۵۸/۳۹	۷۳/۹۰	۹۱/۲۴	۱۱۰/۴۰	۱۳۱/۳۹	۱۵۴/۲۰	۱۷۸/۸۳	۲۰۵/۲۹	۲۳۳/۵۸	۲۶۳/۶۹	۲۹۵/۶۲
۰/۰۱۶	۹/۱۹	۱۶/۳۳	۲۵/۵۴	۴۶/۶۵	۵۸/۰۲	۶۵/۳۳	۸۲/۶۸	۱۰۲/۰۷	۱۲۳/۵۱	۱۴۶/۹۹	۷۲/۵۱	۲۰۰/۰۷	۲۲۹/۶۷	۲۶۱/۳۱	۲۹۴/۹۹	۳۳۰/۷۲
۰/۰۱۸	۱۰/۱۱	۱۷/۹۸	۲۵/۵۲	۴۷/۴۵	۵۵/۰۶	۷۹/۱۱	۹۱/۰۱	۱۱۲/۳۶	۱۳۵/۹۵	۱۶۱/۸۰	۱۸۹/۸۸	۲۲۰/۲۲	۲۵۲/۸۰	۲۸۷/۶۴	۳۲۴/۷۱	۳۶۴/۰۴
۰/۰۲۰	۱۰/۹۹	۱۹/۵۳	۳۰/۵۲	۴۳/۹۵	۵۹/۸۲	۷۵/۱۴	۹۸/۸۹	۱۲۲/۰۹	۱۴۷/۷۳	۱۷۵/۸۱	۲۰۶/۳۳	۲۳۹/۳۰	۲۷۴/۷۰	۳۱۲/۵۵	۳۵۲/۸۴	۳۹۵/۵۸
۰/۰۲۲	۱۱/۸۱	۲۱/۰۰	۳۲/۸۲	۴۷/۴۶	۶۴/۳۲	۸۴/۰۲	۱۰۶/۳۳	۱۳۹/۲۷	۱۵۸/۸۴	۱۸۹/۰۳	۲۲۱/۸۵	۲۵۷/۳۰	۲۹۵/۳۷	۳۳۶/۰۶	۳۷۹/۳۸	۴۲۵/۳۳
۰/۰۲۴	۱۲/۵۹	۲۲/۳۹	۳۴/۹۸	۵۵/۴۳	۶۸/۵۵	۸۰/۹۲	۱۱۳/۳۲	۱۳۹/۹۱	۱۶۹/۲۹	۲۰۹/۴۷	۲۳۶/۴۴	۲۷۴/۲۲	۳۰۴/۷۹	۳۵۸/۴۵	۴۰۴/۳۳	۴۵۳/۳۰
۰/۰۲۶	۱۳/۳۲	۲۳/۴۸	۳۷/۰۰	۵۵/۴۵	۷۶/۳۳	۵۲/۵۰	۱۱۹/۸۷	۱۴۷/۹۹	۱۷۹/۰۷	۲۱۳/۵۵	۲۵۰/۱۰	۲۹۰/۰۶	۳۰۷/۹۸	۳۷۸/۸۵	۴۲۷/۶۹	۴۷۹/۴۹
۰/۰۲۸	۱۴/۰۰	۲۴/۲۲	۳۸/۸۸	۵۵/۵۹	۷۶/۳۵	۵۴/۵۲	۱۲۵/۹۷	۱۵۵/۵۲	۱۸۸/۱۸	۲۲۳/۹۵	۲۷۳/۳۳	۳۰۴/۸۲	۳۰۹/۹۰	۳۹۸/۱۴	۴۴۹/۴۶	۵۰۳/۸۹
۰/۰۳۰	۱۴/۲۳	۵۹/۰۰	۴۰/۲۳	۵۸/۵۰	۷۹/۲۴	۷۴/۰۰	۱۳۹/۶۳	۱۶۲/۵۰	۱۹۶/۶۳	۲۳۲/۰۹	۲۷۴/۶۳	۳۱۸/۵۰	۳۶۵/۶۴	۴۲۵/۰۵	۴۶۹/۶۴	۵۲۶/۵۹
۰/۰۳۲	۱۵/۲۰	۲۷/۲۳	۴۰/۲۵	۶۰/۸۲	۸۲/۷۸	۵۸/۱۲	۱۳۹/۸۲	۱۶۸/۹۴	۲۰۴/۴۱	۲۴۲/۲۷	۲۸۵/۵۰	۳۳۲/۴۲	۳۸۰/۱۱	۴۳۲/۲۸	۴۸۸/۲۳	۵۴۰/۳۶
۰/۰۳۴	۱۵/۷۹	۲۷/۲۳	۴۴/۲۳	۶۲/۸۳	۸۵/۴۲	۵۹/۷	۱۴۱/۲۸	۱۷۴/۵۴	۲۱۱/۱۹	۲۵۱/۳۳	۲۹۴/۹۷	۳۴۹/۰۹	۳۹۲/۰۷	۴۴۶/۸۲	۵۰۴/۴۲	۵۶۵/۵۰

ρ	$f_c = 20MPa$ و $f_y = 300MPa$															
	d = ۶	d = ۸	d = ۱۰	d = ۱۲	d = ۱۴	d = ۱۶	d = ۱۸	d = ۲۰	d = ۲۲	d = ۲۴	d = ۲۶	d = ۲۸	d = ۳۰	d = ۳۲	d = ۳۴	d = ۳۶
۰/۰۰۲	۱/۷۹	۳/۱۸	۴/۹۷	۷/۱۶	۹/۷۵	۱۲/۷۳	۱۶/۱۱	۱۹/۸۹	۲۴/۰۷	۲۸/۶۴	۳۳/۶۱	۳۸/۹۸	۴۴/۷۵	۵۰/۹۱	۵۷/۴۸	۶۴/۴۴
۰/۰۰۴	۳/۴۹	۶/۲۰	۹/۶۹	۱۳/۹۵	۱۸/۹۹	۲۴/۸۰	۳۱/۳۹	۳۸/۷۵	۴۶/۸۹	۵۵/۸۱	۶۵/۴۹	۷۵/۹۶	۸۷/۲۰	۹۹/۲۱	۱۱۲/۰۰	۱۲۵/۵۶
۰/۰۰۶	۵/۰۹	۹/۰۶	۱۴/۱۵	۲۰/۳۷	۲۷/۷۳	۳۶/۲۲	۴۵/۸۴	۵۶/۶۰	۶۸/۴۸	۸۱/۵۰	۹۵/۶۵	۱۱۰/۹۳	۱۲۷/۳۴	۱۴۴/۸۱	۱۶۳/۵۶	۱۸۳/۳۷
۰/۰۰۸	۶/۶۱	۱۱/۷۵	۱۸/۳۵	۲۶/۴۳	۳۵/۹۷	۴۶/۹۹	۵۹/۴۷	۷۳/۴۲	۸۷/۸۳	۱۰۵/۷۲	۱۲۴/۰۷	۱۴۳/۸۹	۱۶۵/۱۸	۱۸۷/۹۴	۲۱۲/۱۷	۲۳۷/۸۷
۰/۰۱۰	۸/۰۳	۱۴/۲۷	۲۲/۳۰	۳۲/۱۲	۴۳/۷۹	۵۷/۱۰	۷۲/۲۶	۸۹/۲۱	۱۰۷/۹۷	۱۲۸/۴۶	۱۵۰/۷۷	۱۷۴/۸۶	۲۰۰/۷۳	۲۲۸/۳۸	۲۵۷/۸۲	۲۸۹/۰۵
۰/۰۱۲	۹/۳۶	۱۶/۶۴	۲۶/۰۰	۳۷/۴۳	۵۰/۹۵	۶۶/۵۵	۸۴/۲۳	۱۰۳/۹۸	۱۲۵/۸۲	۱۴۹/۷۴	۱۷۵/۷۳	۲۰۳/۸۱	۲۳۳/۹۷	۲۶۶/۲۰	۳۰۰/۵۲	۳۳۶/۹۱
۰/۰۱۴	۱۰/۶۰	۱۸/۸۴	۲۹/۴۳	۴۲/۳۸	۵۷/۶۹	۷۵/۳۵	۹۵/۲۷	۱۱۷/۷۴	۱۴۲/۴۶	۱۶۹/۵۴	۱۹۸/۹۷	۲۳۰/۷۶	۲۶۴/۹۰	۳۰۹/۴۰	۳۴۰/۲۵	۳۸۱/۴۶
۰/۰۱۶	۱۱/۷۴	۲۰/۸۷	۳۲/۶۲	۴۶/۹۷	۶۳/۹۳	۸۳/۵۰	۱۰۵/۶۷	۱۳۰/۴۶	۱۵۷/۸۶	۱۸۷/۸۷	۲۲۰/۴۸	۲۵۵/۷۱	۲۹۳/۵۴	۳۳۳/۹۸	۳۷۷/۰۴	۴۲۲/۷۰
۰/۰۱۸	۱۲/۷۹	۲۲/۷۵	۳۵/۵۴	۵۱/۱۸	۶۹/۶۶	۹۰/۹۹	۱۱۵/۱۵	۱۴۲/۱۷	۱۷۲/۰۲	۲۰۴/۷۲	۲۴۰/۲۶	۲۷۸/۶۵	۳۱۹/۸۷	۳۶۳/۹۵	۴۱۰/۸۶	۴۶۰/۶۲
۰/۰۲۰	۱۳/۷۶	۲۴/۴۶	۳۸/۲۱	۵۵/۰۲	۷۴/۹۰	۹۷/۸۲	۱۲۳/۸۱	۱۵۲/۸۵	۱۸۴/۹۴	۲۲۰/۱۰	۲۵۸/۳۱	۲۹۹/۵۸	۳۴۳/۹۱	۳۹۱/۳۹	۴۴۱/۷۳	۴۹۵/۲۲
۰/۰۲۲	۱۴/۶۳	۲۶/۰۰	۴۰/۲۳	۵۸/۵۰	۷۹/۶۳	۱۰۴/۰۰	۱۳۲/۶۳	۱۶۲/۵۰	۱۹۶/۶۳	۲۳۴/۰۱	۲۷۴/۶۳	۱۱۸/۵۱	۳۶۵/۶۴	۴۱۶/۰۹	۴۶۹/۶۴	۵۲۶/۵۲
۰/۲۲۷	۱۴/۹۱	۲۶/۵۰	۴۱/۴۱	۵۹/۴۳	۸۱/۱۷	۱۰۶/۰۰	۱۳۴/۱۷	۱۶۵/۶۴	۲۰۰/۴۳	۲۳۸/۵۳	۲۷۹/۹۴	۳۲۴/۶۶	۳۷۷/۷۰	۴۲۴/۰۵	۴۷۸/۷۱	۵۳۶/۶۸

ρ	$f_c = 20MPa$ و $f_y = 400MPa$															
	d = ۶	d = ۸	d = ۱۰	d = ۱۲	d = ۱۴	d = ۱۶	d = ۱۸	d = ۲۰	d = ۲۲	d = ۲۴	d = ۲۶	d = ۲۸	d = ۳۰	d = ۳۲	d = ۳۴	d = ۳۶
۰/۰۰۲	۲/۳۷	۴/۲۱	۶/۵۷	۹/۴۶	۱۲/۸۸	۱۶/۸۳	۲۱/۳۰	۲۶/۲۹	۳۱/۸۱	۳۷/۸۶	۴۴/۴۳	۵۱/۵۳	۵۹/۱۵	۶۷/۳۰	۷۵/۹۸	۸۵/۱۸
۰/۰۰۴	۴/۵۷	۸/۱۲	۱۲/۶۹	۱۸/۲۷	۲۴/۸۷	۳۲/۴۹	۴۱/۱۲	۵۰/۷۶	۶۱/۴۲	۳۷/۱۰	۸۵/۷۹	۹۹/۴۹	۱۱۴/۲۲	۱۲۹/۹۵	۱۴۶/۷۰	۱۶۴/۴۸
۰/۰۰۶	۶/۶۱	۱۱/۷۵	۱۸/۳۵	۲۶/۴۳	۳۵/۹۷	۴۶/۹۹	۵۹/۴۷	۷۳/۴۲	۸۸/۸۳	۱۰۵/۷۲	۱۲۴/۰۷	۱۴۳/۸۹	۱۶۵/۱۸	۱۸۷/۹۴	۲۱۲/۱۷	۲۳۷/۸۷
۰/۰۰۸	۸/۴۸	۱۵/۰۸	۲۳/۵۶	۳۳/۹۳	۴۶/۱۸	۶۰/۳۲	۷۶/۳۴	۹۴/۲۵	۱۱۴/۰۴	۱۳۵/۷۲	۱۵۹/۲۸	۱۸۴/۷۳	۲۱۲/۰۶	۲۴۱/۲۸	۲۷۲/۳۸	۳۰۵/۳۷
۰/۰۱۰	۱۰/۱۹	۱۸/۱۲	۲۸/۳۲	۴۰/۷۸	۵۵/۵۰	۷۲/۴۹	۹۱/۷۴	۱۱۳/۲۷	۱۳۷/۰۵	۱۶۳/۱۰	۱۹۱/۴۲	۲۲۲/۰۰	۲۵۴/۸۵	۲۸۹/۹۶	۳۲۷/۳۴	۳۶۶/۸۷
۰/۰۱۲	۱۱/۷۴	۲۰/۸۷	۳۲/۶۲	۴۶/۹۷	۶۳/۹۳	۸۳/۵۰	۱۰۵/۶۷	۱۳۰/۴۶	۱۵۷/۸۶	۱۸۷/۸۷	۲۲۰/۴۸	۲۵۵/۷۱	۲۹۳/۵۴	۳۳۳/۶۸	۳۷۷/۰۴	۴۲۲/۷۰
۰/۰۱۴	۱۳/۱۳	۲۳/۳۳	۳۶/۴۶	۵۲/۵۰	۷۱/۴۶	۹۳/۳۴	۱۱۸/۳	۱۴۵/۸۴	۱۷۶/۴۷	۲۱۰/۰۱	۲۴۶/۴۷	۲۸۵/۸۵	۳۲۸/۱۴	۳۷۳/۳۵	۴۲۱/۴۸	۴۷۲/۵۲
۰/۰۱۵۲	۱۳/۹۴	۲۴/۷۸	۳۸/۷۲	۵۵/۷۵	۸۲/۸۸	۹۹/۱۱	۲۵/۴۴	۱۵۴/۸۶	۱۷۸/۳۸	۲۲۳/۰۰	۲۶۱/۷۱	۳۰۳/۵۳	۳۴۸/۴۴	۳۹۶/۴۴	۴۴۷/۵۵	۵۰۱/۷۵

خمش ۵-۲) تعیین لنگر مقاوم خمشی Mu برای عرض یک متر $f_c = 25\ MPa$

مراجع: بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۱-۳ و ۱۱-۴-۱ و ۱۱-۵-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

$$M_u = \phi_s \rho d^2 f_y \times (1 - 0.59\rho \frac{\phi_s f_y}{\phi_c f_c}) \times 10^{-1} \qquad KN.m$$

$f_c = 25$ MPa و $f_y = 220$ MPa

ρ	d = ۶	d = ۸	d = ۱۰	d = ۱۲	d = ۱۴	d = ۱۶	d = ۱۸	d = ۲۰	d = ۲۲	d = ۲۴	d = ۲۶	d = ۲۸	d = ۳۰	d = ۳۲	d = ۳۴	d = ۳۶
۰/۰۰۲	۱/۳۳	۲/۳۶	۳/۶۸	۵/۳۱	۷/۲۲	۱۹/۴۳	۱۱/۹۴	۱۴/۷۴	۱۷/۸۴	۲۱/۲۳	۲۴/۹۱	۲۸/۸۹	۳۳/۱۶	۳۷/۷۳	۴۲/۶۰	۴۷/۷۶
۰/۰۰۴	۲/۶۱	۴/۶۵	۷/۲۶	۱۰/۴۵	۱۴/۲۳	۱۸/۵۹	۲۳/۵۲	۲۹/۰۴	۳۵/۱۴	۴۱/۸۲	۴۹/۰۸	۵۶/۹۲	۶۵/۳۴	۷۴/۳۴	۸۳/۹۲	۹۴/۰۹
۰/۰۰۶	۳/۸۶	۶/۸۶	۱۰/۷۲	۱۵/۴۴	۲۱/۰۲	۲۷/۴۶	۳۴/۷۵	۴۲/۹۰	۵۱/۹۱	۶۱/۷۸	۷۲/۵۰	۸۴/۰۸	۹۶/۵۲	۱۰۹/۸۲	۱۲۳/۹۸	۱۳۸/۹۹
۰/۰۱۰	۶/۲۴	۱۱/۰۹	۱۷/۳۲	۲۴/۹۵	۳۳/۹۶	۴۴/۲۵	۵۶/۱۳۲	۶۹/۳۰	۸۳/۸۵	۹۹/۷۹	۱۱۷/۱۱	۱۳۵/۸۲	۱۵۵/۹۲	۱۷۷/۴۰	۲۰۰/۲۷	۲۲۴/۵۳
۰/۰۱۲	۷/۲۷	۱۳/۰۹	۲۰/۴۶	۲۹/۴۶	۴۰/۱۰	۵۲/۳۸	۶۶/۲۹	۸۱/۸۴	۹۹/۰۲	۱۱۷/۸۵	۱۳۸/۳۱	۱۶۰/۴۰	۱۸۴/۱۳	۲۰۹/۵۰	۲۳۶/۵۱	۲۶۵/۱۵
۰/۰۱۴	۸/۴۵	۱۵/۰۳	۲۳/۴۸	۳۳/۸۲	۴۶/۰۳	۶۰/۱۲	۷۶/۰۹	۹۳/۹۴	۱۱۳/۶۶	۱۳۵/۲۷	۱۵۶/۷۵	۱۸۴/۱۲	۲۱۱/۳۶	۲۴۰/۴۸	۲۷۱/۴۸	۳۰۴/۳۵
۰/۰۱۶	۹/۵۰	۱۶/۹۰	۲۶/۴۰	۳۸/۰۱	۵۱/۷۴	۶۷/۵۸	۸۵/۵۳	۱۰۵/۶۰	۱۲۷/۷۷	۱۵۲/۰۶	۱۷۸/۴۶	۲۰۶/۹۷	۲۳۷/۵۹	۲۷۰/۳۲	۳۰۵/۱۷	۳۴۲/۱۳
۰/۰۱۸	۱۰/۵۱	۱۸/۶۹	۲۹/۲۰	۴۲/۰۵	۵۷/۲۴	۷۴/۷۶	۹۴/۶۲	۱۱۶/۸۱	۱۴۲/۳۵	۱۶۸/۲۱	۱۹۷/۴۲	۲۲۸/۹۶	۲۶۲/۸۳	۲۹۹/۰۴	۳۳۷/۵۹	۳۷۸/۴۸
۰/۰۲۰	۱۱/۴۸	۲۰/۴۱	۳۱/۹۰	۴۵/۹۳	۶۲/۵۲	۸۲/۶۶	۱۰۳/۳۰۰	۱۲۷/۵۹	۱۵۴/۳۹	۱۸۳/۳۳	۲۱۵/۶۳	۲۵۰/۰۸	۲۸۷/۰۸	۳۲۶/۶۴	۳۶۸/۷۴	۴۱۳/۴۰
۰/۰۲۲	۱۲/۴۱	۲۲/۰۷	۳۴/۴۸	۴۹/۶۶	۶۷/۵۹	۸۸/۲۸	۱۱۱/۷۲	۱۳۷/۹۳	۱۶۶/۹۰	۱۹۸/۶۲	۲۳۳/۱۰	۲۷۰/۳۵	۳۱۰/۳۵	۳۵۳/۱۰	۳۹۸/۶۲	۴۴۶/۹۰
۰/۰۲۴	۱۳/۳۰	۲۳/۶۵	۳۶/۹۶	۵۳/۲۲	۷۲/۴۴	۹۴/۶۱	۱۱۹/۷۴	۱۴۷/۸۳	۱۷۸/۸۷	۲۱۲/۸۷	۲۴۹/۸۳	۲۸۹/۷۵	۳۳۲/۶۲	۳۷۸/۴۴	۴۲۷/۲۳	۴۷۸/۹۷
۰/۰۲۶	۱۴/۱۶	۲۵/۱۷	۳۹/۳۳	۵۶/۶۲	۷۷/۰۷	۱۰۰/۶۶	۱۲۷/۴۰	۱۵۹/۲۹	۱۹۰/۳۲	۲۲۶/۴۹	۲۶۵/۸۲	۳۰۸/۲۸	۳۵۲/۹۰	۴۰۲/۶۶	۴۵۴/۵۶	۵۰۹/۶۱
۰/۰۲۸	۱۴/۶۷	۲۲/۶۱	۴۱/۵۸	۵۹/۸۷	۸۱/۴۹	۱۰۶/۴۴	۱۳۴/۷۱	۱۶۶/۳۹	۲۰۱/۲۳	۲۳۹/۴۸	۲۸۶/۰۶	۳۲۵/۹۶	۳۷۴/۱۹	۴۲۵/۷۴	۴۸۰/۶۲	۵۳۸/۸۳
۰/۰۳۰	۱۵/۷۴	۲۷/۹۸	۴۳/۷۲	۶۲/۹۶	۸۵/۶۹	۱۱۱/۹۳	۱۴۱/۶۶	۱۷۴/۸۸	۲۱۱/۶۱	۲۵۱/۸۳	۲۹۵/۵۵	۳۴۲/۷۷	۳۹۳/۴۹	۴۴۷/۷۰	۵۰۵/۴۱	۵۶۶/۶۲
۰/۰۳۲	۱۶/۴۷	۲۹/۲۸	۴۵/۷۶	۶۵/۸۹	۸۹/۶۸	۱۱۷/۱۳	۱۴۸/۲۵	۱۸۳/۰۲	۲۲۱/۴۶	۲۶۳/۵۵	۳۰۹/۳۱	۳۵۸/۷۲	۴۱۱/۸۰	۴۶۸/۵۴	۵۲۸/۹۳	۵۹۲/۹۹
۰/۰۳۴	۱۷/۱۶	۳۰/۵۲	۴۷/۶۸	۶۸/۶۶	۹۳/۴۵	۱۲۲/۰۶	۱۵۴/۴۸	۱۹۰/۷۲	۲۳۰/۷۷	۲۷۴/۶۴	۳۲۲/۳۲	۳۷۳/۸۱	۴۲۹/۱۲	۴۸۷/۲۴	۵۵۱/۱۸	۶۱۷/۹۳
۰/۰۳۶	۱۷/۸۲	۳۱/۶۸	۴۹/۴۹	۷۱/۲۷	۹۷/۰۱	۱۲۶/۷۱	۱۶۰/۳۶	۱۹۷/۹۸	۲۳۹/۵۵	۲۸۵/۰۹	۳۳۴/۵۸	۳۸۷/۰۳	۴۴۵/۴۵	۵۰۶/۸۲	۵۷۲/۱۵	۴۶۱/۴۴
۰/۰۳۸	۱۸/۴۳	۳۲/۷۷	۵۱/۲۰	۷۳/۷۳	۱۰۰/۳۵	۱۳۱/۰۷	۱۶۵/۸۸	۲۰۴/۷۹	۲۴۷/۸۰	۲۹۴/۹۰	۳۴۶/۱۰	۴۰۱/۴۰	۴۶۰/۷۹	۵۲۴/۲۷	۵۹۱/۸۶	۶۶۳/۵۳
۰/۰۴۰	۱۹/۰۱	۳۳/۷۹	۵۲/۷۹	۷۶/۰۲	۱۰۳/۴۷	۱۳۵/۱۵	۱۷۱/۰۵	۲۱۱/۱۷	۲۵۵/۵۲	۳۰۴/۰۹	۳۵۶/۸۸	۴۱۳/۹۰	۴۷۵/۱۴	۵۴۰/۶۰	۶۱۰/۲۹	۶۸۴/۲۰
۰/۰۴۲	۱۹/۵۴	۳۴/۷۴	۵۴/۲۸	۷۸/۱۶	۱۰۶/۳۸	۱۳۸/۹۵	۱۷۵/۱۶	۲۱۷/۱۱	۲۶۲/۷۰	۳۱۲/۶۴	۱۶۶/۹۱	۴۲۵/۵۳	۴۸۸/۴۹	۵۵۵/۸۰	۶۲۷/۴۴	۷۰۳/۴۳
۰/۰۴۴	۱۹/۶۴	۳۴/۹۲	۵۴/۵۶	۷۸/۵۷	۱۰۶/۹۴	۱۳۹/۶۸	۱۷۶/۷۸	۲۱۸/۲۴	۲۶۴/۰۷	۳۱۲/۲۷	۳۶۸/۸۳	۴۲۷/۷۶	۴۹۱/۰۵	۵۵۸/۷۰	۶۳۰/۷۲	۷۰۷/۱۱

ρ	$f_c = 25MPa$ و $f_y = 300MPa$															
	d = ۶	d = ۸	d = ۱۰	d = ۱۲	d = ۱۴	d = ۱۶	d = ۱۸	d = ۲۰	d = ۲۲	d = ۲۴	d = ۲۶	d = ۲۸	d = ۳۰	d = ۳۲	d = ۳۴	d = ۳۶
۰/۰۰۲	۲/۸۰	۳/۲۰	۵/۰۰	۷/۲۰	۹/۸۰	۱۲/۷۹	۱۶/۱۹	۱۹/۹۹	۲۴/۱۹	۲۸/۷۹	۳۳/۷۸	۳۹/۱۸	۴۴/۹۸	۵۱/۱۸	۵۷/۷۷	۶۴/۷۷
۰/۰۰۴	۳/۵۲	۶/۲۷	۹/۷۹	۱۴/۱۰	۱۹/۱۹	۲۵/۰۶	۳۱/۷۲	۳۹/۱۶	۴۷/۳۹	۵۶/۳۹	۶۶/۱۹	۷۶/۷۶	۸۸/۱۲	۱۰۰/۲۶	۱۱۳/۱۸	۱۲۶/۸۹
۰/۰۰۶	۵/۱۸	۹/۲۰	۱۴/۳۸	۲۰/۷۱	۲۸/۱۸	۳۶/۸۱	۴۶/۵۹	۵۷/۵۲	۶۹/۶۰	۸۲/۸۲	۹۷/۲۰	۱۱۲/۷۳	۱۲۹/۴۱	۱۴۷/۲۴	۱۶۶/۲۲	۱۸۶/۳۶
۰/۰۰۸	۶/۷۵	۱۲/۰۱	۱۸/۷۶	۲۷/۰۲	۳۶/۷۸	۴۸/۰۳	۶۰/۷۹	۷۵/۰۵	۹۰/۸۲	۱۰۸/۰۸	۱۲۶/۸۴	۱۴۷/۱۰	۱۶۸/۸۷	۱۹۲/۱۳	۲۱۶/۹۰	۲۴۳/۱۷
۰/۰۱۰	۸/۲۶	۱۴/۶۸	۲۲/۹۴	۳۳/۰۴	۴۴/۹۷	۵۸/۷۳	۷۴/۳۳	۹۱/۷۷	۱۱۱/۰۴	۱۳۲/۱۵	۱۵۵/۰۹	۱۷۹/۸۷	۲۰۶/۴۸	۲۳۴/۹۳	۲۶۵/۲۱	۲۹۷/۳۳
۰/۰۱۲	۹/۶۹	۷/۲۳	۲۶/۹۲	۳۸/۷۶	۵۲/۷۶	۶۸/۹۱	۸۷/۲۱	۱۰۷/۶۷	۱۳۰/۲۸	۱۵۵/۰۴	۱۸۱/۹۶	۲۱۱/۰۳	۲۴۲/۲۵	۲۷۵/۶۳	۳۱۱/۱۶	۳۴۷/۸۴
۰/۰۱۴	۱۱/۰۵	۱۹/۶۴	۳۰/۶۹	۴۴/۱۹	۶۰/۱۵	۷۸/۵۶	۹۹/۴۳	۱۲۲/۷۵	۱۴۸/۵۳	۱۷۶/۷۶	۲۰۷/۴۴	۲۴۰/۵۹	۲۷۶/۱۸	۳۱۴/۲۳	۳۵۴/۷۴	۳۹۷/۷۰
۰/۰۱۶	۱۲/۳۳	۲۱/۹۲	۳۴/۲۵	۴۹/۳۲	۶۷/۱۳	۸۷/۶۹	۱۱۰/۹۸	۱۳۷/۰۱	۱۶۵/۷۸	۱۹۷/۲۹	۲۳۱/۵۵	۲۶۸/۵۴	۳۰۸/۲۷	۳۵۰/۷۴	۳۹۵/۹۶	۴۴۳/۹۰
۰/۰۱۸	۱۳/۵۴	۲۴/۰۷	۳۷/۶۱	۵۴/۱۶	۷۳/۷۲	۹۶/۲۹	۱۲۱/۸۷	۱۵۰/۴۵	۱۸۲/۰۵	۲۱۶/۶۵	۲۵۴/۲۷	۲۹۴/۸۹	۳۳۸/۵۲	۳۸۵/۹۶	۴۳۴/۸۱	۴۸۷/۴۷
۰/۰۲۰	۱۴/۶۸	۲۴/۰۹	۴۰/۷۷	۵۸/۷۱	۷۹/۹۱	۱۰۴/۳۷	۱۳۲/۰۹	۱۶۳/۰۸	۱۹۷/۳۲	۲۳۴/۸۳	۲۷۵/۶۰	۳۱۹/۶۳	۳۶۶/۹۲	۴۱۷/۴۸	۴۷۱/۲۹	۵۲۸/۳۷
۰/۰۲۲	۱۵/۷۴	۲۷/۹۸	۴۳/۷۲	۶۲/۹۶	۸۵/۶۹	۱۱۱/۹۳	۱۴۱/۶۶	۱۷۴/۸۸	۲۱۱/۶۱	۲۵۱/۸۳	۲۹۵/۵۵	۳۴۲/۷۷	۳۹۳/۴۹	۴۴۷/۷۰	۵۰۵/۴۱	۵۶۶/۶۹
۰/۰۲۴	۱۶/۷۳	۲۹/۷۴	۴۶/۴۷	۶۲/۹۱	۹۰/۰۸	۱۱۸/۹۶	۱۵۰/۵۶	۱۸۵/۸۷	۲۲۴/۹۰	۲۶۷/۶۶	۳۱۴/۱۲	۳۶۴/۳۱	۴۱۸/۲۱	۴۷۵/۵۳	۵۳۷/۱۷	۶۰۲/۲۲
۰/۰۲۶	۱۷/۶۴	۳۱/۳۷	۴۹/۰۱	۷۰/۵۷	۹۶/۰۶	۱۲۵/۴۷	۱۵۸/۷۹	۱۹۶/۰۴	۲۳۷/۲۱	۲۸۲/۳۰	۳۳۱/۳۱	۳۸۴/۲۴	۴۴۱/۰۹	۵۰۱/۸۷	۵۶۶/۵۶	۶۳۵/۱۷
۰/۰۲۸	۱۸/۴۹	۳۲/۸۶	۵۱/۳۵	۷۳/۹۴	۱۰۰/۶۴	۱۳۱/۴۵	۱۶۶/۳۷	۲۰۵/۳۹	۲۴۸/۵۲	۲۹۵/۷۶	۳۴۷/۱۹	۴۰۲/۵۷	۴۶۲/۱۳	۵۲۵/۸۰	۵۹۳/۵۸	۶۶۵/۴۷
۰/۲۸۳	۱۸/۶۹	۳۳/۰۸	۵۱/۶۸	۷۴/۴۲	۱۰۱/۲۹	۱۳۲/۳۰	۱۶۷/۴۵	۲۰۶/۷۲	۲۵۰/۱۴	۲۹۷/۳۸	۳۴۹/۳۶	۴۰۵/۱۸	۴۶۵/۱۳	۵۲۹/۲۱	۵۹۷/۲۳	۶۶۹/۷۹

ρ	$f_c = 25MPa$ و $f_y = 400MPa$															
	d = ۶	d = ۸	d = ۱۰	d = ۱۲	d = ۱۴	d = ۱۶	d = ۱۸	d = ۲۰	d = ۲۲	d = ۲۴	d = ۲۶	d = ۲۸	d = ۳۰	d = ۳۲	d = ۳۴	d = ۳۶
۰/۰۰۲	۲/۳۸	۴/۲۴	۶/۶۲	۹/۵۳	۱۲/۰۷	۱۶/۹۴	۲۱/۴۴	۲۶/۴۷	۳۲/۰۳	۳۸/۱۲	۴۴/۷۴	۵۱/۸۹	۵۹/۵۶	۱۶۷/۷۷	۷۶/۵۱	/۸۵/۷۷
۰/۰۰۴	۴/۶۳	۸/۲۴	۱۲/۸۷	۱۸/۵۴	۲۵/۲۳	۳۲/۹۵	۴۱/۷۱	۵۱/۴۹	۶۲/۳۰	۷۴/۱۵	۸۷/۰۲	۱۰۰/۹۲	۱۱۵/۸۵	۱۳۱/۸۱	۱۴۸/۸۱	۱۶۶/۸۳
۰/۰۰۶	۶/۷۵	۱۲/۰۱	۱۸/۷۶	۲۷/۰۲	۳۶/۷۸	۴۸/۰۳	۶۰/۷۹	۷۵/۰۵	۹۰/۸۱	۱۰۸/۰۸	۱۲۶/۸۴	۱۴۷/۱۰	۱۶۷/۸۷	۱۹۲/۱۳	۲۱۶/۹۰	۲۴۳/۱۷
۰/۰۰۸	۸/۷۴	۱۵/۵۵	۲۴/۲۹	۳۴/۹۸	۴۷/۶۱	۶۲/۱۸	۷۸/۷۰	۹۷/۱۶	۱۱۷/۵۶	۱۳۹/۹۱	۱۶۴/۲۰	۱۹۰/۴۳	۲۱۸/۶۱	۲۴۸/۷۳	۲۸۰/۷۹	۳۱۴/۸۰
۰/۰۱۰	۱۰/۶۰	۱۸/۸۵	۲۹/۴۵	۴۹/۴۱	۵۷/۷۳	۷۵/۴۰	۹۵/۴۳	۱۱۷/۸۱	۱۴۲/۵۵	۱۶۹/۶۵	۱۹۹/۱۰	۲۳۰/۹۱	۲۶۵/۰۸	۳۰۱/۶۰	۳۴۰/۴۸	۳۸۱/۷۱
۰/۰۱۲	۱۲/۳۳	۲۱/۹۲	۳۴/۲۵	۴۹/۳۲	۶۷/۱۳	۸۷/۶۹	۱۱۰/۹۸	۱۳۷/۰۱	۱۶۵/۷۸	۱۹۷/۲۹	۲۰۱/۵۵	۲۶۸/۵۴	۳۰۸/۲۷	۳۵۰/۷۴	۳۹۵/۹۶	۴۴۳/۹۱
۰/۰۱۴	۱۳/۹۳	۲۴/۷۶	۳۸/۶۹	۵۵/۷۱	۷۵/۸۳	۹۹/۰۴	۱۲۵/۳۵	۱۵۴/۷۵	۱۷۸/۲۵	۲۲۲/۸۴	۲۶۱/۵۳	۳۰۳/۳۱	۳۴۸/۱۹	۳۹۶/۱۷	۴۴۷/۲۳	۵۰۱/۴۰
۰/۰۱۶	۱۵/۳۹	۲۷/۳۷	۴۲/۷۶	۶۱/۵۷	۸۳/۸۱	۱۰۹/۴۸	۱۳۸/۵۴	۱۷۱/۰۴	۲۰۶/۹۶	۲۴۶/۳۰	۲۸۹/۰۶	۳۳۵/۲۴	۳۸۴/۸۴	۴۳۷/۸۶	۴۹۴/۳۰	۵۵۴/۱۷
۰/۰۱۸	۱۶/۷۳	۲۹/۷۴	۴۶/۴۷	۶۶/۹۱	۹۱/۰۸	۱۱۸/۹۶	۱۵۰/۵۶	۱۸۵/۸۷	۲۲۴/۹۰	۲۶۷/۶۶	۳۱۴/۱۲	۳۶۴/۳۱	۴۱۸/۲۱	۴۷۵/۸۳	۵۳۷/۱۷	۶۰۲/۲۲
۰/۰۱۹۱	۱۷/۴۱	۳۰/۹۵	۴۸/۳۵	۶۹/۶۳	۹۴/۷۷	۱۲۳/۷۸	۱۵۶/۶۶	۱۹۳/۴۱	۲۳۴/۰۳	۲۷۸/۵۱	۳۲۶/۸۶	۳۷۹/۰۸	۴۳۵/۱۷	۴۹۵/۱۳	۵۵۸/۹۵	۶۲۶/۶۵

خمش ۵-۳) تعیین لنگر مقاوم خمشی Mu برای عرض یک متر $f_c = 30\ MPa$

مراجع: بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۱-۳ و ۱۱-۴-۱ و ۱۱-۵-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

$$M_u = \phi_s \rho d^2 f_y \times (1 - 0.59\rho \frac{\phi_s f_y}{\phi_c f_c}) \times 10^{-1} \qquad KN.m$$

ρ	$f_c = 30$ MPa و $f_y = 220$ Mpa															
	d = ۶	d = ۸	d = ۱۰	d = ۱۲	d = ۱۴	d = ۱۶	d = ۱۸	d = ۲۰	d = ۲۲	d = ۲۴	d = ۲۶	d = ۲۸	d = ۳۰	d = ۳۲	d = ۳۴	d = ۳۶
۰/۰۰۲	۱/۳۳	۲/۳۶	۳/۶۹	۵/۳۲	۷/۲۴	۹/۴۶	۱۱/۹۷	۱۴/۷۸	۱۷/۸۸	۲۱/۲۸	۲۴/۹۷	۲۸/۹۶	۲۸/۹۶	۳۳/۲۵	۴۲/۷۰	۴۷/۸۸
۰/۰۰۴	۲/۶۳	۴/۶۷	۷/۳۰	۱۰/۵۱	۱۴/۳۰	۱۸/۶۸	۲۳/۲۴	۲۹/۱۹	۳۵/۳۲	۴۲/۰۳	۴۹/۳۳	۵۷/۲۱	۵۷/۲۱	۶۵/۶۷	۸۴/۳۵	۹۴/۵۶
۰/۰۰۶	۳/۸۹	۶/۹۹	۱۰/۸۱	۱۵/۵۶	۲۱/۷۰	۲۷/۶۷	۳۵/۰۲	۴۳/۲۳	۵۲/۳۱	۶۲/۲۵	۷۳/۰۶	۸۴/۷۳	۸۴/۷۳	۹۸/۲۷	۱۲۴/۹۳	۱۴۰/۰۶
۰/۰۰۸	۵/۱۲	۹/۱۰	۱۴/۲۳	۲۰/۴۹	۲۷/۸۲	۳۶/۴۲	۴۴۶/۰۹	۵۶/۹۱	۶۸/۸۶	۸۱/۹۴	۹۶/۱۷	۱۱۱/۵۴	۱۱۱/۵۴	۱۲۸/۰۴	۱۴۶/۴۶	۱۸۴/۳۶
۰/۰۱۰	۶/۳۲	۱۱/۲۳	۱۷/۵۵	۲۵/۲۸	۳۴/۴۵	۴۴/۹۴	۵۶/۸۷	۷۰/۲۲	۸۴/۹۶	۱۰۱/۷۱	۱۱۸/۶۶	۱۳/۶۲	۱۱۳/۶۲	۱۵۷/۹۷	۲۰۲/۹۲	۲۲۷/۵۰
۰/۰۱۲	۷/۴۸	۱۳/۳۱	۲۰/۷۹	۲۹/۹۴	۴۰/۷۵	۵۳/۲۲	۶۷/۳۶	۸۳/۱۶	۱۰۰/۶۲	۱۱۹/۷۵	۱۴۰/۵۴۰	۱۶۲/۹۹	۱۶۲/۹۹	۱۸۷/۱۱	۲۴۰/۳۳	۲۶۹/۴۳
۰/۰۱۴	۸/۶۲	۱۵/۳۲	۲۳/۹۳	۳۴/۴۶	۴۶/۹۲	۶۱/۲۷	۷۷/۵۴	۹۵/۷۳	۱۱۵/۸۴	۱۳۷/۸۶	۱۶۱/۷۹	۱۸۷/۶۴	۱۸۷/۶۴	۲۱۵/۴۰	۲۷۶/۶۷	۳۱۰/۸۰
۰/۰۱۶	۹/۷۹	۱۷/۲۷	۲۶/۹۹	۳۸/۸۶	۵۲/۸۵	۶۹/۰۸	۸۷/۴۳	۱۰۷/۹۲	۱۳۰/۸۱	۱۵۵/۴۴	۱۸۲/۴۲	۲۱۱/۵۷	۲۰۵/۵۷	۲۴۲/۸۷	۳۲۲/۹۵	۳۴۹/۷۳
۰/۰۱۸	۱۰/۷۸	۱۹/۱۷	۲۹/۹۵	۴۳/۱۲	۵۸/۶۹	۷۶/۶۶	۹۷/۰۳	۱۱۹/۷۹	۱۴۴/۹۴	۱۷۹/۴۹	۲۰۲/۴۴	۲۳۴/۷۸	۲۳۴/۷۸	۲۶۹/۵۲	۳۴۶/۱۸	۳۸۸/۷۰
۰/۰۲۰	۱۱/۸۱	۲۱/۰۰	۳۲/۸۲	۴۷/۲۵	۶۴/۳۲	۸۴/۰۱	۱۰۶/۳۲	۱۳۱/۲۶	۱۵۸/۸۳	۱۸۹/۰۲	۲۲۹/۸۳	۲۵۷/۲۷	۲۵۷/۲۷	۲۹۵/۳۴	۳۷۹/۳۴	۴۲۵/۲۸
۰/۰۲۲	۱۲/۸۱	۲۲/۷۸	۳۵/۵۹	۵۱/۲۵	۶۹/۶۶	۹۱/۱۲	۱۱۵/۳۲	۱۴۲/۳۷	۱۷۲/۲۷	۲۰۵/۰۱	۲۴۰/۶۰	۲۷۹/۰۴	۲۷۹/۰۴	۳۳۰/۳۳	۴۱۱/۴۵	۴۶۱/۴۸
۰/۰۲۴	۱۳/۷۸	۲۴/۵۰	۳۸/۲۸	۵۵/۱۲	۷۵/۵۲	۹۷/۹۹	۱۲۴/۰۲	۱۵۳/۱۱	۱۸۵/۲۶	۲۲۰/۴۸	۲۵۸/۷۶	۳۰۰/۱۰	۳۰۰/۱۰	۳۴۴/۵۰	۴۴۲/۴۹	۴۹۶/۰۸
۰/۰۲۶	۱۴/۷۱	۲۶/۵۶	۴۰/۸۷	۶۵/۸۶	۸۰/۴۲	۱۰۴/۶۳	۱۳۲/۳۲	۱۶۳/۴۹	۱۹۷/۸۲	۲۳۵/۴۲	۲۷۶/۲۹	۳۲۰/۴۳	۳۲۰/۴۳	۳۶۷/۸۴	۴۷۲/۴۸	۵۲۹/۷۰
۰/۰۲۸	۱۵/۶۱	۲۷/۹۶	۴۳/۳۷	۶۲/۴۶	۸۵/۰۴	۱۱۱/۰۴	۱۴۰/۵۳	۱۷۳/۴۹	۲۰۹/۹۳	۲۴۹/۸۳	۲۹۳/۲۱	۳۴۰/۰۵	۳۴۰/۰۵	۳۹۰/۳۶	۵۰۱/۴۰	۵۶۲/۲۰
۰/۰۳۰	۱۶/۴۸	۲۹/۳۰	۴۵/۷۸	۶۵/۹۳	۸۹/۷۲	۱۱۷/۲۱	۱۴۸/۳۴	۱۸۳/۱۲	۲۲۱/۶۰	۲۶۳/۷۲	۳۰۹/۵۰	۳۵۸/۹۵	۳۵۸/۹۵	۴۱۲/۰۶	۵۲۹/۲۶	۵۹۳/۳۶
۰/۰۳۲	۱۷/۳۲	۳۰/۷۹	۴۸/۱۰	۶۹/۲۷	۹۴/۲۸	۱۲۳/۱۴	۱۵۵/۸۵	۱۹۲/۴۱	۲۳۲/۸۲	۲۷۷/۰۷	۳۲۵/۱۸	۳۷۷/۱۳	۳۷۷/۱۳	۴۳۲/۹۳	۵۵۶/۰۷	۶۳۲/۴۱
۰/۰۳۴	۱۸/۱۲	۳۲/۲۱	۵۰/۳۳	۷۲/۴۷	۹۸/۶۵	۱۲۹/۸۴	۱۶۳/۰۷	۲۰۱/۳۲	۲۴۳/۶۰	۲۸۹/۹۰	۳۴۰/۲۳	۳۹۴/۵۹	۳۹۴/۵۹	۴۵۲/۹۷	۵۸۱/۸۱	۶۵۲/۲۷
۰/۰۳۶	۱۸/۸۹	۳۳/۵۸	۵۲/۴۷	۷۵/۵۵	۱۰۲/۸۳	۱۳۴/۳۱	۱۶۹/۹۹	۲۰۹/۸۶	۲۵۳/۹۳	۳۰۲/۲۰	۳۵۴/۶۶	۴۱۱/۳۳	۴۱۱/۳۳	۴۷۲/۱۹	۶۰۶/۵۰	۶۷۹/۹۵
۰/۰۳۸	۱۹/۶۲	۳۴/۸۹	۵۰/۵۱	۷۸/۴۹	۱۰۶/۸۴	۱۳۹/۵۴	۱۷۶/۶۱	۲۱۸/۰۴	۲۶۳/۸۲	۳۱۳/۹۷	۳۶۸/۴۸	۴۲۱/۳۵	۴۲۷/۳۵	۴۹۰/۵۴	۶۳۰/۱۲	۷۰۶/۴۳
۰/۰۴۰	۲۰/۳۳	۳۶/۱۳	۵۶/۴۶	۸۱/۳۰	۱۱۰/۶۶	۱۴۴/۵۴	۱۶۲/۹۳	۲۲۵/۸۴	۲۷۳/۲۷	۳۲۵/۲۱	۳۸۱/۶۷	۴۴۲/۶۵	۴۴۲/۶۵	۵۰۸/۱۵	۶۵۲/۶۹	۷۳۱/۷۳
۰/۰۴۲	۲۱/۰۰	۳۷/۳۳	۵۸/۳۲	۸۳/۹۸	۱۱۴/۳۱	۱۴۹/۳۰	۱۸۸/۹۶	۲۳۳/۲۸	۲۸۲/۲۷	۳۳۵/۹۳	۳۹۴/۲۵	۴۵۷/۲۴	۴۵۷/۲۴	۵۲۴/۸۹	۶۷۴/۱۹	۷۵۵/۸۴
۰/۰۴۴	۲۱/۶۱	۳۸/۴۶	۶۰/۰۹	۸۶/۵۳	۱۱۷/۷۸	۱۵۳/۸۳	۱۹۴/۶۹	۲۴۰/۳۶	۲۹۰/۸۳	۳۴۶/۱۲	۴۰۶/۲۰	۴۷۱/۱۰	۴۷۱/۱۰	۵۴۰/۸۱	۶۹۴/۶۳	۷۷۸/۷۶
۰/۰۴۶	۲۲/۲۴	۳۹/۵۳	۶۱/۷۷	۸۸/۹۴	۱۲۱/۰۶	۱۵۸/۱۲۰	۲۰۰/۱۲	۲۴۷/۰۷	۲۹۸/۹۵	۳۵۵/۷۷	۴۱۷/۵۴	۴۸۴/۲۵	۴۸۴/۲۵	۵۵۵/۹۰	۷۱۴/۰۲	۸۰۰/۴۹
۰/۰۴۸	۲۲/۸۱	۴۰/۵۴	۶۳/۳۵	۹۱/۲۳	۱۲۴/۱۷	۱۶۲/۱۸	۲۰۵/۲۶	۲۵۳/۴۱	۳۰۶/۶۲	۳۶۴/۹۰	۴۲۸/۲۶	۴۹۶/۶۸	۴۹۶/۶۸	۵۷۰/۱۶	۷۳۲/۳۴	۸۲۱/۰۳
۰/۰۵۰	۲۳/۳۴	۴۱/۵۰	۶۴/۸۴	۹۳/۳۸	۱۲۷/۱۰	۱۶۶/۰۰	۲۱۰/۱۰	۲۵۹/۳۸	۳۱۳/۸۵	۳۷۳/۵۱	۴۳۸/۳۵	۵۰۸/۳۸	۵۰۸/۳۸	۵۸۳/۶۰	۷۴۹/۶۱	۸۴۰/۳۹
۰/۰۵۰۹	۵۳/۵۸	۴۱/۹۱	۶۵/۴۹	۹۴/۳۰	۱۲۸/۳۵	۱۶۷/۶۵	۲۱۲/۱۸	۲۶۱/۹۵	۳۱۶/۹۶	۳۷۷/۲۰	۴۴۲/۶۹	۵۱۳/۴۲	۵۱۳/۴۲	۵۸۹/۳۸	۷۵۷/۰۳	۷۴۸/۷۱

$f_c = 30$ MPa و $f_y = 300$ MPa

ρ	d = ۶	d = ۸	d = ۱۰	d = ۱۲	d = ۱۴	d = ۱۶	d = ۱۸	d = ۲۰	d = ۲۲	d = ۲۴	d = ۲۶	d = ۲۸	d = ۳۰	d = ۳۲	d = ۳۴	d = ۳۶
۰/۰۰۲	۱/۸۱	۳/۲۱	۵/۰۱	۱۷/۲۲	۹/۸۳	۱۲/۸۴	۱۶/۲۵	۲۰/۰۶	۲۴/۲۷	۲۸/۸۸	۳۳/۹۰	۳۹/۳۲	۴۵/۱۳	۵۱/۳۵	۵۷/۹۷	۶۴/۹۹
۰/۰۰۴	۳/۵۵	۶/۳۱	۹/۸۶	۱۴/۳۰	۱۹/۳۲	۲۵/۲۴	۳۱/۹۴	۳۹/۴۴	۴۷/۷۲	۵۶/۷۹	۷۶/۲۵	۷۷ /۲۹	۸۸/۷۳	۱۰۰/۹۶	۱۱۳/۹۷	۱۲۷/۷۷
۰/۰۰۶	۵/۳۳	۹/۳۰	۱۴/۵۳	۲۰/۹۳	۲۸/۴۸	۳۷/۳۰	۴۷/۰۹	۵۸/۱۳	۷۰/۳۴	۸۳/۷۱	۹۸/۲۴	۱۱۳/۹۴	۱۳۰/۷۹	۱۴۷/۸۱	۱۶۸/۰۰	۸۸/۳۴
۰/۰۰۸	۶/۸۵	۱۲/۱۸	۱۹/۰۴	۲۷/۴۱	۳۷/۳۱	۴۸/۷۳	۶۱/۶۸	۷۶/۸۴	۹۲/۱۳	۱۰۹/۶۵	۱۲۸/۶۸	۱۴۹/۳۴	۱۷۱/۳۲	۱۹۴/۹۳	۲۲۰/۰۶	۲۴۶/۷۱
۰/۰۱۰	۸/۴۱	۱۴/۹۶	۲۳/۳۷	۳۳/۶۵	۴۵/۸۰	۵۹/۸۲	۷۵/۷۱	۹۳/۴۷	۱۰۳/۱۰	۱۳۴/۶۰	۱۵۷/۸۷	۱۸۳/۲۱	۲۱۰/۳۲	۲۳۹/۲۹	۲۷۰/۱۴	۳۰۲/۸۶
۰/۰۱۲	۹/۹۱	۱۷/۶۲	۲۷/۵۳	۳۹/۶۴	۵۳/۹۶	۷۰/۴۸	۸۹/۲۰	۱۱۰/۱۲	۱۳۲/۲۵	۱۵۸/۵۸	۱۸۶/۲۳	۲۱۵/۸۴	۲۴۷/۷۸	۲۸۱/۹۲	۳۱۸/۲۶	۳۵۶/۸۰
۰/۰۱۴	۱۱/۳۵	۲۰/۱۷	۳۱/۵۲	۴۵/۳۹	۶۱/۷۸	۸۰/۷۰	۱۰۲/۱۳	۱۲۶/۰۹	۱۵۲/۵۷	۱۸۱/۵۷	۲۰۳/۰۹	۲۴۷/۱۴	۲۸۳/۷۰	۳۲۲/۷۹	۳۶۴/۴۰	۴۰۸/۰۳
۰/۰۱۶	۱۲/۷۲	۲۲/۶۲	۳۵/۳۴	۵۰/۸۹	۶۹/۲۷	۹۰/۴۸	۱۱۴/۵۱	۱۴۷/۳۷	۱۷۲/۰۶	۲۰۳/۵۸	۲۳۸/۹۳	۲۷۷/۰۹	۳۱۸/۰۹	۳۶۱/۹۲	۴۰۸/۵۷	۴۵۸/۰۵
۰/۰۱۸	۱۴/۰۴	۲۴/۹۶	۳۵/۹۹	۵۶/۱۵	۷۶/۴۳	۹۹/۸۳	۱۲۶/۳۴	۱۵۵/۹۸	۱۸۸/۷۳	۲۲۴/۶۱	۲۶۳/۶۰	۳۰۵/۷۲	۳۵۰/۹۵	۳۹۹/۳۰	۴۵۰/۷۷	۵۰۵/۳۷
۰/۰۲۰	۱۵/۲۹	۲۷/۱۸	۴۲/۴۷	۶۱/۱۶	۸۳/۲۵	۱۰۸/۷۳	۱۳۷/۶۲	۱۶۹/۹۰	۲۰۵/۵۸	۲۴۴/۲۵	۲۸۷/۱۳	۳۳۲/۰۰	۳۸۲/۲۷	۴۳۴/۹۴	۴۹۱/۰۱	۵۵۰/۴۷
۰/۰۲۲	۱۶/۴۸	۲۹/۳۰	۴۵/۷۸	۶۵/۹۳	۸۹/۷۴	۱۱۷/۲۱	۱۴۸/۳۴	۱۸۳/۱۴	۲۲۱/۶۰	۲۶۳/۷۲	۳۰۹/۵۰	۳۵۸/۹۵	۴۱۲/۰۶	۴۶۸/۸۳	۵۲۹/۲۶	۵۹۳/۳۶
۰/۰۲۴	۱۷/۶۱	۳۱/۴۱	۴۸/۹۲	۷۰/۴۵	۹۵/۸۹	۱۲۵/۲۴	۱۵۸/۵۱	۱۹۵/۶۹	۲۳۶/۷۹	۲۸۱/۸۰	۳۳۰/۷۲	۳۸۳/۵۶	۴۴۰/۳۱	۵۰۰/۹۷	۵۶۵/۵۵	۶۳۴/۰۵
۰/۰۲۶	۱۸/۶۸	۳۳/۲۱	۵۱/۸۹	۷۴/۷۲	۱۰۱/۷۱	۱۳۲/۸۴	۱۶۸/۱۳	۲۰۷/۵۷	۲۵۱/۱۶	۲۹۸/۹۰	۳۵۰/۷۹	۴۰۶/۸۳	۴۶۷/۰۳	۵۳۱/۳۷	۵۹۹/۸۷	۶۷۲/۵۲
۰/۰۲۸	۱۹/۶۹	۳۵/۰۰	۵۴/۶۹	۷۸/۷۵	۱۰۷/۱۹	۱۴۰/۰۱	۱۷۷/۲۰	۲۱۸/۷۶	۲۶۴/۷۰	۳۱۵/۰۱	۳۶۹/۷۰	۴۲۸/۷۷	۴۹۲/۲۱	۵۶۰/۰۳	۶۲۲/۲۲	۷۰۸/۷۸
۰/۰۳۰	۲۰/۶۳	۳۶/۶۸	۵۷/۳۲	۸۲/۵۴	۱۱۲/۳۴	۱۴۶/۳	۱۶۵/۷۱	۲۲۹/۲۷	۲۷۷/۴۲	۳۳۰/۱۵	۳۸۷/۴۷	۴۴۹/۳۷	۵۱۵/۸۶	۵۸۶/۹۳	۶۶۲/۵۹	۷۴۲/۸۴
۰/۰۳۲	۲۱/۵۲	۳۸/۲۶	۵۹/۷۷	۸۶/۰۸	۱۱۷/۱۶	۱۵۳/۰۲	۱۹۳/۶۷	۲۳۹/۱۰	۲۸۹/۳۱	۳۴۴/۳۰	۴۰۴/۰۸	۴۶۸/۶۳	۵۳۷/۹۷	۴۱۲/۰۹	۶۹۱/۰۰	۷۷۴/۶۸
۰/۰۳۴۰	۲۲/۳۴	۳۹/۷۲	۶۲/۰۶	۸۹/۳۷	۱۲۱/۶۴	۱۵۸/۵۸	۲۰۱/۰۸	۲۴۸/۲۵	۳۰۰/۳۸	۳۵۷/۴۷	۴۱۹/۵۳	۴۸۶/۵۶	۵۵۸/۵۵	۶۳۵/۵۱	۷۱۷/۴۳	۸۰۴/۳۱

ρ	f_c = 30 MPa و f_y = 400 Mpa															
	d = ۶	d = ۸	d = ۱۰	d = ۱۲	d = ۱۴	d = ۱۶	d = ۱۸	d = ۲۰	d = ۲۲	d = ۲۴	d = ۲۶	d = ۲۸	d = ۳۰	d = ۳۲	d = ۳۴	d = ۳۶
۰/۰۰۲	۲/۳۹	۴/۲۵	۶/۶۵	۹/۵۷	۱۳/۰۳	۱۷/۰۲	۲۱/۵۴	۲۶/۵۹	۳۲/۱۸	۳۸/۲۹	۴۴/۹۴	۵۲/۱۲	۵۹/۸۴	۶۸/۰۸	۷۶/۸۶	۸۶/۱۶
۰/۰۰۴	۴/۶۸	۸/۳۲	۱۲/۹۹	۱۸/۷۲	۲۵/۴۷	۳۳/۲۶	۴۲/۱۰	۵۹/۹۷	۶۲/۸۹	۷۴/۸۴	۸۷/۸۴	۱۰۱/۸۷	۱۱۶/۹۴	۱۳۳/۰۶	۱۵۰/۲۱	۱۶۸/۴۰
۰/۰۰۶	۶/۸۵	۱۲/۷۸	۱۸۹/۰۴	۲۷/۴۱	۳۷/۳۱	۴۸/۷۳	۶۱/۶۸	۷۶/۴۰	۹۲/۱۳	۱۰۹/۶۵	۱۲۸/۶۸	۱۴۹/۲۴	۱۷۱/۳۲	۱۹۴/۱۳	۲۲۰/۰۶	۳۴۲/۷۱
۰/۰۰۸	۸/۹۲	۱۵/۸۶	۲۴/۷۷	۳۵/۶۸	۴۸/۵۶	۶۳/۴۲	۶۰/۲۷	۹۹/۱۰	۱۱۹/۹۱	۱۴۲/۷۰	۱۶۷/۴۸	۱۹۴/۲۴	۲۲۲/۹۷	۲۵۳/۷۰	۲۸۶/۴۰	۳۵۸/۰۸
۰/۰۱۰	۱۰/۸۸	۱۹/۳۳	۳۰/۲۱	۴۳/۵۰	۵۹/۲۷	۷۷/۳۴	۹۸/۸۸	۱۲۰/۸۴	۱۴۶/۲۲	۱۷۴/۰۱	۲۰۴/۲۳	۲۳۶/۸۵	۲۷۱/۹۰	۳۰۹/۳۶	۳۴۹/۲۴	۳۹۷/۵۳
۰/۰۱۲	۱۲/۷۲	۲۲/۷۲	۳۵/۳۴	۵۰/۸۹	۶۹/۲۷	۹۰/۴۷	۱۱۴/۵۱	۱۴۱/۳۷	۱۷۹/۰۶	۲۰۳/۵۸	۲۳۸/۹۲	۲۷۷/۰۹	۳۱۸/۰۹	۳۶۱/۹۲	۴۰۸/۵۷	۴۵۸/۰۵
۰/۰۱۴	۱۴/۴۶	۲۵/۷۹	۴۰/۱۷	۵۷/۸۵	۷۸/۷۴	۱۰۲/۸۴	۱۳۰/۸۶	۱۶۰/۶۹	۱۹۴/۴۴	۲۳۱/۴۰	۲۶۹/۵۷	۳۱۴/۹۶	۳۶۱/۵۶	۴۲۱/۳۸	۴۶۴/۴۰	۵۶۹/۶۵
۰/۰۱۶	۱۶/۰۹	۲۸/۶۱	۴۴/۷۰	۶۴/۳۷	۸۷/۶۲	۱۱۴/۴۳	۱۴۴/۸۳	۱۷۸/۸۷	۲۱۶/۳۵	۲۵۷/۴۷	۳۰۲/۱۷	۳۵۰/۴۵	۴۰۲/۳۰	۴۵۷/۷۳	۵۱۶/۷۳	۵۷۹/۳۰
۰/۰۱۸	۱۷/۶۱	۳۱/۳	۴۸/۹۲	۷۰/۴۶	۹۵/۸۹	۱۲۵/۲۴	۵۸/۵۷	۲۱۵/۶۹	۲۳۴/۷۹	۲۸۱/۸۰	۳۳۰/۷۲	۳۸۶/۵۶	۴۴۰/۳۱	۵۰۰/۹۷	۵۶۵/۵۵	۶۳۴/۰۵
۰/۰۲۰	۱۹/۰۲	۳۳/۸۲	۵۲/۸۴	۷۶/۰۹	۱۰۳/۵۷	۱۳۵/۲۸	۱۷۱/۲۱	۲۲۱/۳۷	۲۵۵/۷۶	۳۰۴/۳۸	۳۵۷/۲۲	۴۱۴/۲۹	۴۷۵/۵۹	۵۴۱/۱۲	۶۱۰/۸۷	۶۸۴/۸۵
۰/۰۲۲	۲۰/۳۳	۳۶/۱۳	۵۶/۴۶	۸۰/۳۰	۱۱۰/۶۶	۱۴۴/۵۴	۱۸۲/۹۳	۲۲۵/۷۵	۲۷۳/۲۷	۳۲۵/۲۱	۳۸۱/۶۷	۴۴۲/۶۵	۵۰۸/۱۵	۵۷۸/۱۶	۶۵۲/۶۹	۷۳۱/۷۳
۰/۰۲۳۰	۲۰/۹۴	۳۷/۲۲	۵۸/۷۶	۸۳/۷۴	۱۱۳/۹۸	۱۴۸/۸۸	۱۸۸/۴۲	۲۳۲/۶۲	۲۸۱/۴۷	۳۳۴/۹۸	۳۹۱/۱۳	۴۵۵/۹۴	۵۲۳/۴۰	۵۹۵/۵۱	۶۷۲/۲۸	۷۵۳/۷۰

خمش ۵-۴) تعیین لنگر مقاوم خمشی Mu برای عرض یک متر $f_c = 35\ MPa$

مراجع: بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۱-۳ و ۱۱-۴-۱ و ۱۱-۵-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

$$M_u = \phi_s \rho d^2 f_y \times (1 - 0.59\rho \frac{\phi_s f_y}{\phi_c f_c}) \times 10^{-1} \qquad KN.m$$

ρ	$f_c = 30$ MPa و $f_y = 220$ Mpa															
	d = ۶	d = ۸	d = ۱۰	d = ۱۲	d = ۱۴	d = ۱۶	d = ۱۸	d = ۲۰	d = ۲۲	d = ۲۴	d = ۲۶	d = ۲۸	d = ۳۰	d = ۳۲	d = ۳۴	d = ۳۶
۰/۰۰۲	۱/۳۳	۲/۳۷	۳/۷۰	۵/۳۳	۷/۲۵	۹/۴۷	۱۱/۹۹	۱۴/۸۰	۱۷/۹۱	۲۱/۳۲	۲۵/۰۲	۲۹/۰۱	۳۳/۳۱	۳۷/۹۰	۴۲/۷۸	۴۷/۹۶
۰/۰۰۴	۲/۶۴	۴/۶۹	۷/۳۲	۱۰/۵۴	۱۴/۳۵	۱۸/۷۵	۲۳/۷۳	۲۹/۲۹	۳۵/۴۴	۴۲/۱۸	۴۹/۵۰	۵۷/۴۱	۶۵/۹۱	۷۴/۹۹	۸۴/۶۵	۹۴/۹۰
۰/۰۰۶	۳/۹۱	۶/۹۵	۱۰/۸۷	۱۵/۶۵	۲۱/۳۰	۲۷/۸۲	۳۵/۲۱	۴۳/۴۷	۵۲/۵۹	۶۲/۵۹	۷۳/۴۶	۸۵/۱۹	۹۷/۸۰	۱۱۱/۲۷	۱۲۵/۶۱	۱۴۰/۸۳
۰/۰۰۸	۳۵/۱۶	۹/۱۷	۱۴/۳۳	۲۰/۶۴	۲۸/۰۹	۳۶/۶۹	۴۶/۴۳	۵۷/۳۲	۶۹/۳۶	۸۲/۵۵	۹۶/۸۸	۱۱۲/۳۶	۱۲۸/۹۸	۱۴۶/۷۵	۱۶۵/۶۷	۱۸۵/۷۳
۰/۰۱۰	۶/۳۸	۱۱/۳۴	۱۷/۷۲	۲۵/۵۱	۳۴/۷۳	۴۵/۳۶	۵۷/۴۰	۷۰/۸۷	۸۵/۷۵	۱۰۲/۰۵	۱۱۹/۷۷	۱۳۸/۹۱	۱۵۹/۴۶	۱۸۱/۴۳	۲۰۴/۰۱	۲۲۹/۶۲
۰/۰۱۲	۷/۵۷	۱۳/۴۶	۲۱/۰۳	۳۰/۲۸	۴۱/۲۱	۵۳/۸۲	۶۸/۱۲	۸۴/۱۰	۱۰۱/۷۶	۱۲۱/۱۱	۱۴۲/۱۳	۱۶۴/۸۴	۱۸۹/۲۳	۲۱۵/۳۰	۲۴۳/۰۵	۲۷۲/۴۹
۰/۰۱۴	۸/۷۳	۱۵/۵۲	۲۴/۲۵	۳۴/۹۳	۴۷/۵۴	۶۲/۰۹	۷۸/۵۸	۹۷/۰۲	۱۱۷/۳۹	۱۳۹/۷۱	۱۶۳/۹۶	۱۹۰/۱۵	۲۱۸/۲۹	۲۴۸/۳۶	۲۸۰/۳۸	۳۱۴/۳۴
۰/۰۱۶	۹/۸۷	۱۷/۵۴	۲۷/۴۰	۳۹/۴۶	۵۳/۷۱	۷۰/۱۶	۸۸/۷۹	۱۰۹/۶۲	۱۳۲/۶۴	۱۵۷/۸۵	۱۸۵/۲۶	۲۱۴/۸۵	۲۴۶/۶۴	۲۸۰/۶۳	۳۱۶/۸۰	۳۵۵/۱۷
۰/۰۱۸	۱۰/۹۷	۱۹/۵۱	۳۰/۴۸	۴۳/۸۹	۵۹/۷۳	۷۸/۰۲	۹۸/۷۴	۱۲۱/۹۱	۱۴۷/۵۱	۱۷۵/۵۵	۲۰۶/۰۲	۲۳۸/۹۴	۲۷۴/۲۹	۳۱۲/۰۸	۳۵۲/۳۱	۳۹۴/۹۸
۰/۰۲۰	۱۲/۰۵	۲۱/۴۲	۳۳/۴۷	۴۸/۲۰	۶۵/۶۰	۸۵/۲۸	۱۰۸/۴۴	۱۳۳/۸۴	۱۶۲/۰۰	۱۹۲/۷۹	۲۲۶/۲۶	۲۶۲/۴۱	۳۰۱/۲۳	۳۴۲/۷۳	۳۸۶/۹۱	۴۳۳/۷۷
۰/۰۲۲	۱۳/۱۰	۲۳/۲۹	۳۶/۳۸	۵۲/۳۹	۷۱/۳۱	۹۳/۲۷	۱۱۷/۸۹	۱۴۵/۵۴	۱۷۶/۱۰	۲۰۹/۵۸	۲۴۵/۹۶	۲۸۵/۲۶	۳۲۷/۴۶	۳۷۲/۵۸	۴۲۰/۶۱	۴۷۱/۵۵
۰/۰۲۴	۱۴/۱۲	۲۵/۱۰	۳۹/۲۲	۵۶/۴۸	۷۶/۸۷	۱۰۰/۴۱	۱۲۷/۰۸	۱۵۶/۸۸	۱۸۹/۸۳	۲۲۵/۹۱	۲۶۵/۱۳	۳۰۷/۴۹	۳۵۲/۹۹	۴۰۹/۶۲	۴۵۳/۳۹	۵۰۸/۳۰
۰/۰۲۶	۱۵/۱۱	۲۶/۸۷	۴۱/۹۸	۶۰/۴۵	۸۲/۲۸	۱۰۷/۴۷	۱۳۶/۰۱	۱۶۷/۹۱	۲۰۳/۱۸	۲۴۱/۸۰	۲۸۳/۷۸	۳۳۹/۱۱	۳۷۷/۸۱	۴۲۹/۸۶	۴۸۵/۲۷	۵۴۴/۰۴
۰/۰۲۸	۱۶/۰۸	۲۸/۵۸	۴۴/۶۶	۶۴/۳۱	۸۷/۵۳	۱۱۴/۳۳	۱۴۴/۶۹	۱۷۸/۶۳	۲۱۶/۱۴	۲۵۷/۲۳	۳۰۱/۸۸	۳۵۰/۱۱	۴۰۱/۹۳	۴۵۹/۴۹	۵۱۶/۴۴	۵۷۸/۴۶
۰/۰۳۰	۱۷/۰۱	۳۰/۲۵	۴۷/۲۶	۶۸/۰۵	۹۲/۲۳	۱۲۰/۹۸	۱۵۳/۱۲	۱۸۹/۰۳	۲۲۸/۷۳	۲۷۲/۲۱	۳۱۹/۴۶	۳۷۰/۵۰	۴۷۵/۲۱	۴۸۳/۹۲	۵۴۶/۳۰	۶۱۲/۴۶
۰/۰۳۲	۱۷/۹۲	۳۱/۸۶	۴۹/۷۸	۷۱/۶۸	۹۷/۵۷	۱۲۰/۴۴	۱۶۱/۲۹	۱۹۲/۱۲	۲۴۰/۹۳	۲۸۶/۷۳	۳۳۶/۵۱	۳۹۰/۲۷	۴۴۸/۰۲	۵۰۹/۷۴	۵۷۵/۴۵	۶۴۵/۱۴
۰/۰۳۴	۱۸/۸۰	۳۳/۴۲	۵۲/۲۲	۷۵/۲۰	۱۰۲/۳۶	۱۳۳/۲۹	۱۶۹/۲۰	۲۰۸/۸۹	۲۵۲/۷۶	۳۰۰/۸۰	۳۵۳/۰۳	۴۰۹/۴۳	۴۷۰/۰۰	۵۳۴/۷۶	۶۰۳/۶۹	۶۷۶/۸۱
۰/۰۳۶	۱۹/۶۵	۳۴/۹۴	۵۴/۵۹	۷۸/۶۱	۱۰۶/۹۹	۱۳۹/۷۴	۱۷۶/۸۶	۲۱۸/۳۵	۲۶۴/۲۰	۳۱۴/۴۲	۳۶۹/۰۱	۴۲۷/۹۶	۴۹۱/۲۹	۵۵۸/۹۷	۶۳۹/۰۳	۷۰۷/۴۵
۰/۰۳۸	۲۰/۴۷	۳۶/۴۰	۵۶/۸۷	۸۱/۹۰	۱۱/۴۷	۱۴۵/۶۰	۱۸۴/۲۷	۲۲۷/۴۹	۲۷۵/۲۷	۳۲۷/۵۹	۳۸۴/۴۶	۴۴۵/۸۹	۵۱۱/۸۶	۵۸۲/۳۸	۶۵۷/۴۵	۷۳۷/۰۸
۰/۰۴۰	۲۱/۲۷	۳۷/۸۱	۵۹/۰۸	۸۵/۰۸	۱۱۵/۸۰	۱۵۱/۲۵	۱۹۰/۴۲	۲۳۶/۳۲	۲۸۵/۹۵	۳۴۰/۳۰	۳۹۹/۳۸	۴۶۳/۱۹	۵۳۱/۷۳	۶۰۴/۹۹	۶۷۲/۹۷	۷۶۵/۶۸
۰/۰۴۲	۲۲/۰۴	۳۹/۱۷	۶۱/۲۱	۸۸/۱۴	۱۱۹/۴۷	۱۵۶/۷۰	۱۹۸/۳۲	۲۴۴/۸۴	۲۹۶/۲۵	۳۵۲/۵۷	۴۱۳/۷۸	۴۷۹/۸۸	۵۵۰/۸۸	۶۲۶/۷۸	۷۰۷/۵۸	۷۹۳/۲۷
۰/۰۴۴	۲۲/۷۷	۴۰/۴۹	۶۳/۲۶	۹۱/۰۹	۱۲۳/۹۹	۱۶۱/۹۴	۲۰۴/۹۶	۲۵۳/۰۴	۳۰۶/۱۸	۳۶۴/۳۶	۴۲۷/۶۳	۴۹۵/۹۵	۵۶۹/۳۴	۶۴۷/۷۸	۷۳۱/۲۸	۸۱۹/۸۴
۰/۰۴۶	۲۳/۴۸	۴۱/۷۵	۶۵/۲۳	۹۳/۹۳	۱۲۷/۸۵	۱۶۶/۹۹	۲۱۱/۳۵	۲۶۰/۹۲	۳۱۵/۷۲	۳۷۵/۷۳	۴۴۰/۹۶	۵۱۱/۴۱	۵۶۷/۰۸	۶۶۷/۹۷	۷۵۴/۰۷	۸۶۵/۴۰
۰/۰۴۸	۲۴/۱۶	۴۲/۹۶	۶۷/۱۲	۹۶/۶۶	۱۳۱/۵۶	۱۷۴/۸۴	۲۱۷/۴۸	۲۶۸/۵۰	۳۲۴/۸۸	۳۸۶/۶۳	۴۵۳/۸۶	۵۲۶/۲۵	۶۰۴/۱۲	۶۸۷/۳۵	۷۷۵/۹۵	۸۶۹/۹۳
۰/۰۵۰	۲۴/۸۲	۴۴/۱۲	۶۸/۹۴	۹۹/۲۷	۱۳۵/۱۲	۱۷۶/۴۸	۲۲۳/۳۶	۲۷۵/۷۵	۳۳۳/۶۶	۳۹۷/۰۹	۴۶۶/۰۲	۵۴۰/۴۸	۶۲۰/۴۵	۷۰۵/۹۳	۷۹۶/۹۳	۸۹۳/۴۴
۰/۰۵۲	۲۵/۴۴	۴۵/۲۳	۷۰/۶۷	۱۰۱/۷۷	۱۳۸/۵۲	۱۸۰/۹۳	۲۲۸/۹۸	۲۸۲/۷۰	۳۴۲/۰۶	۴۰۷/۰۸	۴۷۷/۷۶	۵۵۴/۰۹	۶۳۶/۰۷	۷۲۳/۷۰	۸۱۶/۹۹	۹۱۵/۹۴
۰/۰۵۴	۲۶/۰۴	۴۶/۲۹	۷۲/۳۳	۱۰۴/۱۶	۱۴۱/۷۷	۱۸۵/۱۷	۲۳۴/۳۵	۲۸۹/۳۳	۳۵۰/۰۸	۴۱۶/۶۳	۴۸۸/۹۶	۵۶۸/۰۸	۶۵۰/۹۸	۷۴۰/۴۷	۸۳۶/۱۵	۹۳۷/۴۱
۰/۰۵۶	۲۶/۶۱	۴۷/۳۰	۷۳/۹۱	۱۰۶/۴۳	۱۴۴/۸۶	۱۸۹/۲۹	۲۳۹/۲۷	۲۹۵/۶۴	۳۵۷/۷۲	۴۲۵/۷۲	۴۹۹/۶۳	۵۷۹/۴۵	۶۶۵/۱۹	۷۵۶/۸۴	۸۵۴/۴۰	۹۵۷/۸۷
۰/۰۵۶۶	۲۶/۷۷	۴۷/۶۰	۷۴/۳۷	۱۰۷/۰۹	۱۴۵/۷۶	۱۹۰/۳۵	۲۴۰/۹۵	۲۹۷/۴۷	۳۵۹/۹۴	۴۲۸/۳۶	۵۰۲/۷۳	۵۸۳/۰۵	۶۶۹/۳۵	۷۶۱/۵۳	۸۵۹/۷۰	۹۶۳/۸۱

$f_c = 30$ MPa و $f_y = 300$ MPa

ρ	d = ۶	d = ۸	d = ۱۰	d = ۱۲	d = ۱۴	d = ۱۶	d = ۱۸	d = ۲۰	d = ۲۲	d = ۲۴	d = ۲۶	d = ۲۸	d = ۳۰	d = ۳۲	d = ۳۴	d = ۳۶
۰/۰۰۲	۱/۸۱	۳/۲۲	۵/۰۳	۷/۲۴	۹/۸۵	۱۲/۸۷	۱۶/۲۹	۲۰/۱۱	۲۴/۳۳	۲۸/۹۶	۳۳/۹۸	۳۹/۴۱	۴۵/۲۴	۵۱/۴۸	۵۸/۱۱	۶۵/۱۵
۰/۰۰۴	۳/۵۶	۶/۳۹	۹/۹۱	۱۴/۲۷	۱۹/۴۲	۲۵/۳۶	۳۲/۱۰	۳۹/۶۳	۴۷/۹۵	۵۷/۰۷	۶۶/۹۸	۷۷/۶۸	۸۹/۱۷	۱۰۱/۴۵	۱۱۴/۵۳	۱۲۸/۴۰
۰/۰۰۶	۵/۲۷	۹/۳۷	۱۴/۶۴	۲۱/۰۸	۲۸/۷۰	۳۷/۴۸	۴۷/۴۴	۵۸/۵۷	۷۰/۸۷	۸۴/۳۴	۹۸/۹۸	۱۱۴/۸۰	۱۳۱/۷۸	۱۴۹/۹۴	۱۶۹/۲۷	۱۸۹/۷۶
۰/۰۰۸	۶/۹۲	۱۲/۳۱	۱۹/۲۳	۲۷/۶۹	۳۷/۶۹	۴۹/۳۳	۶۲/۳۱	۷۶/۹۲	۹۳/۰۸	۱۱۰/۷۷	۱۳۰/۰۰	۱۵۰/۷۷	۱۷۳/۰۸	۱۹۶/۹۲	۲۲۲/۳۱	۲۴۹/۲۳
۰/۰۱۰	۸/۵۲	۱۵/۱۵	۲۳/۶۷	۳۴/۰۹	۴۶/۴۰	۶۰/۶۰	۷۶/۷۰	۹۴/۶۹	۱۱۴/۵۸	۱۳۶/۳۶	۱۶۰/۰۳	۱۸۵/۶۰	۲۱۳/۰۶	۲۴۲/۴۱	۲۷۳/۶۶	۳۰۶/۸۰
۰/۰۱۲	۱۰/۰۷	۱۷/۹۰	۲۷/۹۷	۴۰/۲۸	۵۴/۸۲	۷۱/۶۰	۹۰/۶۲	۱۱۱/۸۸	۱۳۵/۳۷	۱۶۱/۱۰	۱۸۹/۰۷	۲۱۹/۲۸	۲۵۹/۷۲	۲۸۶/۴۱	۳۳۳/۳۲	۳۶۲/۴۸
۰/۰۱۴	۱۱/۵۶	۲۰/۵۶	۳۲/۱۲	۴۶/۲۵	۶۲/۹۵	۸۲/۲۳	۱۰۴/۰۷	۱۲۸/۴۸	۱۵۵/۴۶	۱۸۵/۰۱	۲۱۷/۱۳	۲۵۱/۸۲	۲۸۹/۰۷	۳۲۸/۹۰	۳۷۱/۳۰	۴۱۶/۲۷
۰/۰۱۶	۱۳/۰۰	۲۳/۱۲	۳۶/۱۲	۵۲/۰۲	۷۰/۸۰	۹۲/۴۸	۱۱۷/۰۴	۱۴۴/۴۹	۱۷۴/۸۴	۲۰۸/۰۷	۲۴۴/۱۹	۲۸۳/۲۱	۳۲۵/۱۱	۳۶۹/۹۰	۴۱۷/۵۸	۴۶۸/۱۶
۰/۰۱۸	۱۴/۳۹	۲۵/۵۹	۳۹/۹۸	۵۷/۵۷	۸۷/۳۶	۱۰۲/۳۵	۱۲۹/۵۴	۱۵۹/۹۲	۱۹۳/۵۱	۲۳۰/۲۹	۲۷۰/۲۷	۳۱۳/۴۵	۳۵۹/۸۳	۴۰۹/۴۰	۴۶۲/۱۸	۵۱۸/۱۵
۰/۰۲۰	۱۵/۷۳	۲۷/۹۶	۴۳/۶۹	۶۲/۹۲	۸۵/۶۴	۱۱۱/۸۵	۱۴۱/۵۶	۱۷۴/۷۷	۲۱۱/۴۷	۲۵۱/۶۷	۲۹۵/۳۶	۳۴۲/۵۵	۳۹۳/۲۳	۴۴۷/۴۱	۵۰۵/۰۸	۵۶۶/۲۵
۰/۰۲۲	۱۷/۰۱	۳۰/۴۵	۴۷/۲۶	۶۸/۰۵	۹۲/۶۳	۱۲۰/۹۸	۱۵۳/۱۲	۱۸۹/۰۳	۲۲۸/۷۳	۲۷۲/۲۹	۳۱۹/۴۶	۳۷۰/۵۰	۴۲۵/۳۲	۴۸۳/۹۲	۵۴۶/۳۰	۶۱۲/۴۶
۰/۰۲۴	۱۸/۲۴	۳۴/۴۳	۵۰/۶۸	۷۲/۹۸	۹۹/۳۳	۱۲۹/۷۳	۱۶۴/۱۹	۲۰۲/۷۱	۲۴۵/۲۸	۲۹۱/۹۰	۳۴۶/۵۸	۳۹۷/۳۱	۴۵۶/۰۹	۵۱۸/۹۳	۵۸۵/۸۳	۶۵۶/۷۸
۰/۰۲۶	۱۹/۴۲	۳۴/۵۳	۵۳/۹۵	۷۷/۶۹	۱۰۵/۷۴	۱۳۸/۱۱	۱۷۴/۸۰	۲۱۵/۸۰	۲۶۱/۲۲	۳۱۰/۷۵	۳۶۴/۷۰	۴۲۲/۹۷	۴۸۵/۵۵	۵۵۲/۴۵	۶۲۳/۶۶	۶۹۹/۱۹
۰/۰۲۸	۲۰/۵۵	۳۶/۵۳	۵۷/۰۸	۸۲/۱۹	۱۱۱/۸۷	۱۴۶/۱۲	۱۸۴/۹۳	۲۲۸/۳۱	۲۷۶/۲۵	۳۳۸/۷۶	۳۸۵/۸۴	۴۴۷/۴۸	۵۱۳/۶۹	۵۸۴/۴۷	۶۵۹/۸۱	۷۳۹/۷۲
۰/۰۳۰	۲۰/۶۲	۳۸/۴۴	۶۰/۰۶	۸۶/۴۸	۱۱۷/۷۱	۱۵۳/۷۵	۱۹۴/۵۹	۲۴۰/۲۳	۲۹۰/۲۸	۳۴۵/۹۳	۴۰۵/۹۹	۴۷۰/۸۵	۵۴۰/۵۲	۶۱۴/۹۹	۶۹۴/۲۷	۷۷۸/۳۵
۰/۰۳۲	۲۲/۶۴	۴۰/۲۵	۶۲/۸۹	۹۰/۵۷	۱۲۳/۲۷	۱۶۱/۰۱	۲۰۳/۷۷	۲۵۱/۵۷	۳۰۲/۲۰	۳۶۲/۲۶	۴۲۵/۱۵	۴۹۳/۰۸	۵۶۶/۰۳	۶۴۴/۰۲	۷۲۷/۰۴	۸۱۵/۰۹
۰/۰۳۴	۲۳/۶۱	۴۱/۹۷	۶۵/۵۸	۹۴/۴۴	۱۲۸/۵۴	۱۶۷/۱۹	۲۱۲/۴۸	۲۶۲/۳۲	۳۱۷/۴۲	۳۷۷/۷۵	۴۴۳/۳۳	۵۱۴/۱۶	۵۹۰/۲۳	۶۷۱/۵۵	۷۵۸/۱۲	۸۴۹/۹۳
۰/۰۳۶	۲۴/۵۲	۴۳/۶۰	۶۸/۱۲	۹۸/۱۰	۱۳۳/۵۲	۱۷۴/۴۰	۲۲۰/۷۲	۲۷۳/۴۹	۳۳۹/۷۲	۴۰۲/۳۹	۴۶۰/۵۱	۵۳۴/۰۹	۶۱۳/۱۱	۶۹۷/۵۸	۷۸۷/۵۱	۸۸۲/۸۸
۰/۰۳۸	۲۵/۳۰	۴۴/۹۸	۷۰/۲۹	۱۰۱/۲۱	۱۳۷/۷۶	۱۷۹/۹۳	۲۲۷/۷۳	۲۸۱/۱۵	۳۴۰/۱۹	۴۰۴/۸۵	۴۷۵/۵۴	۵۵۱/۰۵	۶۳۲/۵۸	۷۱۹/۷۴	۸۱۲/۵۱	۹۱۰/۹۱

ρ	$f_c = 30$ MPa و $f_y = 400$ Mpa															
	d = ۶	d = ۸	d = ۱۰	d = ۱۲	d = ۱۴	d = ۱۶	d = ۱۸	d = ۲۰	d = ۲۲	d = ۲۴	d = ۲۶	d = ۲۸	d = ۳۰	d = ۳۲	d = ۳۴	d = ۳۶
۰/۰۰۲	۲/۴۰	۴/۲۷	۶/۶۷	۹/۶۰	۱۳/۰۷	۱۷/۰۸	۲۱/۶۱	۲۶/۶۸	۳۲/۲۸	۳۸/۴۲	۴۵/۰۹	۵۲/۲۹	۶۰/۰۳	۶۸/۳۰	۷۷/۱۱	۸۶/۴۴
۰/۰۰۴	۴/۷۱	۸/۳۷	۱۳/۰۸	۱۸/۸۴	۲۵/۶۴	۳۳/۴۹	۴۲/۳۸	۵۲/۳۲	۶۳/۳۱	۷۵/۳۴	۸۸/۴۲	۱۰۲/۵۵	۱۱۷/۷۷	۱۳۳/۹۴	۱۵۱/۲۱	۱۶۹/۵۲
۰/۰۰۶	۶/۹۲	۱۲/۳۱	۱۹/۲۳	۲۷/۶۹	۳۷/۶۹	۴۹/۲۳	۶۲/۳۱	۷۶/۹۲	۹۳/۰۸	۱۱۰/۷۷	۱۳۰/۰۰	۱۵۰/۷۷	۱۷۳/۰۸	۱۹۶/۹۲	۲۲۲/۳۱	۲۴۹/۲۳
۰/۰۰۸	۷/۰۴	۱۶/۰۸	۲۵/۱۲	۳۶/۱۷	۴۹/۲۴	۶۴/۳۱	۸۱/۳۹	۱۰۰/۴۹	۱۲۱/۵۹	۱۴۴/۷۰	۱۶۹/۸۲	۱۹۶/۹۵	۲۲۶/۰۹	۲۵۷/۲۴	۲۹۰/۴۰	۳۲۵/۵۷
۰/۰۱۰	۷/۰۷	۱۹/۰۸	۳۰/۷۵	۴۴/۲۸	۶۰/۲۷	۷۸/۷۳	۹۹/۶۴	۱۲۳/۰۱	۱۴۸/۸۴	۱۷۷/۱۳	۲۰۷/۸۸	۲۴۱/۱۰	۲۷۶/۷۷	۳۱۴/۹۰	۳۵۵/۵۰	۳۹۸/۵۵
۰/۰۱۲	۱۳/۰۰	۲۳/۱۲	۳۶/۱۲	۵۲/۰۲	۷۰/۸۰	۹۲/۴۸	۱۱۷/۰۴	۱۴۴/۴۹	۱۷۴/۸۴	۲۰۸/۰۷	۲۴۴/۱۹	۲۸۳/۲۱	۳۲۵/۱۱	۳۶۹/۹۰	۴۱۷/۵۸	۴۶۸/۱۶
۰/۰۱۴	۱۴/۸۴	۲۶/۳۹	۴۱/۲۳	۵۹/۳۸	۸۰/۸۲	۱۰۵/۵۸	۱۳۳/۶۰	۱۶۴/۹۴	۱۹۹/۵۷	۲۳۷/۵۱	۲۷۸/۷۴	۳۲۳/۲۸	۳۷۱/۱۱	۴۲۲/۲۴	۴۷۶/۶۷	۵۳۴/۴۰
۰/۰۱۶	۱۶/۵۹	۲۹/۴۹	۴۶/۰۹	۶۶/۳۶	۹۰/۳۳	۱۱۷/۹۸	۱۴۹/۳۲	۱۸۴/۳۴	۲۲۳/۰۵	۲۶۵/۴۵	۳۱۱/۵۴	۳۶۱/۳۱	۴۱۴/۷۷	۴۷۱/۹۲	۵۳۲/۷۵	۵۹۷/۲۷
۰/۰۱۸	۱۸/۲۴	۳۱/۴۳	۵۰/۶۸	۷۲/۹۸	۹۴/۳۳	۱۲۹/۷۳	۱۶۴/۱۹	۲۰۲/۷۱	۲۴۵/۵۸	۲۹۱/۹۰	۳۴۲/۵۸	۳۹۷/۳۱	۴۵۶/۰۹	۵۱۸/۹۳	۵۸۵/۸۳	۶۵۶/۷۸
۰/۰۲۰	۱۹/۸۰	۳۵/۲۱	۵۵/۰۱	۷۹/۲۱	۱۰۷/۸۲	۱۴۰/۸۲	۱۷۸/۲۳	۲۲۰/۰۴	۲۶۶/۵۴	۳۱۶/۸۵	۳۷۱/۸۶	۴۳۱/۲۷	۴۹۵/۰۸	۵۶۳/۲۹	۶۳۵/۹۰	۷۱۴/۹۳
۰/۰۲۲	۲۰/۲۷	۳۷/۲۷	۵۹/۰۸	۸۵/۰۸	۱۱۵/۸۰	۱۵۱/۲۷	۱۹۱/۴۲	۲۳۶/۳۲	۲۸۵/۹۵	۳۴۰/۳۰	۳۹۹/۳۸	۴۶۳/۱۹	۵۳۷/۷۳	۶۰۴/۹۹	۶۸۲/۹۷	۷۶۵/۶۸
۰/۰۲۴	۲۲/۲۴	۴۰/۲۵	۶۰/۷۹	۹۰/۵۷	۱۲۳/۲۷	۱۶۱/۰۱	۲۰۳/۷۷	۲۵۱/۵۷	۳۰۴/۴۰	۳۶۲/۲۶	۴۲۵/۱۵	۴۹۳/۰۸	۵۶۶/۰۳	۶۴۴/۰۲	۷۲۷/۰۴	۸۱۵/۰۹
۰/۰۲۳۰	۲۳/۲۶	۴۲/۲۷	۶۵/۰۸	۹۴/۴۴	۱۲۸/۵۴	۱۶۷/۸۹	۲۱۲/۴۸	۲۶۲/۳۲	۳۰۸/۴۲	۳۷۷/۷۵	۴۴۳/۳۳	۵۱۴/۱۶	۵۹۰/۲۳	۶۷۱/۵۵	۷۵۸/۱۲	۸۴۹/۹۳

خمش و بار محوری

مثال ۱ طراحی ستون مستطیل شکل تحت اثر بار محوری

محاسبه درصد فولاد ستون مربع شکلی که با خاموتهای جانبی بسته شده است در نظر است. بارهای مرده و زنده به ترتیب 1440 KN و 855KN می‌باشد. طول آزاد ستون ۲/۶ متر است و سازه در هر دو جهت مهار جانبی شده است.

مشخصات :

$f'_c = 28$ MPa

$f_y = 420$ MPa

$b = 45$ cm

$t = 45$ cm

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی	
	$N_u = 1.25 \times 1440 + 1.5 \times 855 = 3083KN$	**گام اول)** محاسبه بار در حد نهایی $N_u = 1.25\, N_D + 1.5\, N_L$	۳-۳-۵-۱۰
	$K = 1$ $r = 0.3 \times 45 = 13.5$ cm $\frac{K\ell}{r} = \frac{260}{13.5} = 19.2 < 34 - 12(\frac{M_1}{M_2}) = 22$	**گام دوم)** کنترل لاغری ستون در قطعات فشاری مهار شده در صورتی که $K\frac{\ell_u}{r} < 34 - 12\frac{M_1}{M_2}$ باشد می‌توان از اثر لاغری صرف‌نظر نمود.	۱-۷-۱۳
	$\frac{M_u}{A_g} = 0.8[0.85 \times 0.6 \times 28(1-\rho) + 0.85 \times 420 \times \rho]$ $\frac{3083 \times 10^{-3}}{0.45 \times 0.45} = 11.42 - 11.42\rho + 285.6\rho$ $15.22 = 11.42 + 274.18\rho$ $\rho = 0.014$	**گام سوم)** تعیین درصد فولاد لازم $N_{max} = 0.8[0.85\phi_c f_c (A_g - A_{st}) + \phi_s f_y A_{st}]$	۳-۴-۱۱

مثال ۲ طراحی ستون مستطیل شکل تحت اثر بار محوری و لنگر خمشی (ستون بدون فولاد میانی)

بارها مرده و زنده وارد بر ستون مربع شکلی به ترتیب برابر با 90 KN و 67.5 KN می‌باشد. لنگرهای مرده و زنده وارد بر انتهای ستون 123.5 KN.m و 95.9 KN.m می‌باشد. طول آزاد ستون 3.65m است. ابعاد ستون $45\times45cm^2$ می‌باشد. درصد فولاد مورد نیاز را محاسبه کنید.

مشخصات :

$f'_c = 28$ MPa

$f_y = 400$ MPa

$d = 40.5$ cm

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از دیاگرامها	
	$N_u = 1.25 \times 90 + 1.5 \times 67.5 = 213.75$ KN $M_u = 1.25 \times 123.3 + 1.5 \times 95.9 = 289$ KN.m	**گام اول)** محاسبه بار و لنگر در حد نهائی $N_u = 1.25\,N_D + 1.5\,N_L$ $M_u = 1.25\,M_D + 1.5\,M_L$	۳-۳-۵-۱۰
	$e = \frac{298}{213.75} = 1.39$ m $\frac{e}{t} = \frac{1.39}{0.45} = 3$ m	**گام دوم)** محاسبه خروج از مرکزیت، e/t $e = \frac{M_u}{P_u}$	
	$\frac{N_u}{A_g.f_c} = \frac{213.75\times10^3}{(450\times450)28} = 0.038$ $\frac{M_u}{A_g.t.f_c} = \frac{298\times10^6}{(450\times450)\times450\times28} = 0.116$	**گام سوم)** محاسبه $\frac{N_u}{A_g.f_c}, \frac{M_u}{A_g.t.f_c}$	
	$\frac{d}{t} = \frac{40\times5}{450} = 0.9$	**گام چهارم)** محاسبه d/t	
	$\rho_t m = 0.34$ $m = \frac{400}{0.85\times28} = 16.8$	**گام پنجم)** با استفاده از دیاگرام مربوطه $\rho_t.m$ محاسبه می‌شود. $m = \frac{f_y}{0.85f_c}$	
	$\rho_t m = 0.34$ $\rho_t = \frac{0.34}{16.8} = 0.02$	**گام ششم)** محاسبه ρ_t	

مثال ۳ طراحی ستون مستطیل شکل تحت اثر بار محوری و لنگر خمشی

بارها و لنگرهای مرده و زنده وارد بر ستون مستطیلی شکل برابر با مقادیر زیر می‌باشند ابعاد ستون $35\times60cm^2$ می‌باشد. درصد فولاد لازم برای این ستون را محاسبه کنید.

مشخصات :

$N_D = 1575\ KN$

$N_L = 1080\ KN$

$M_D = 137\ KN.m$

$M_L = 110\ KN.m$

$f_c = 28\ MPa$

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از دیاگرامها	
	$N_u = 1.25 \times 1575 + 1.5 \times 1080 = 3589\ KN$ $M_u = 1.25 \times 137 + 1.5 \times 110 = 336\ KN.m$	**گام اول)** محاسبه بار و لنگر در حد نهائی $N_u = 1.25\,N_D + 1.5\,N_L$ $M_u = 1.25\,M_D + 1.5\,M_L$	۳-۳-۵-۱۰
	$e = \frac{336}{3589} = 9.36\times10^{-2}$ $\frac{e}{t} = \frac{0.094}{0.6} = 0.16$	**گام دوم)** محاسبه خروج از مرکزیت و e/t $e = \frac{M_u}{P_u}$	
	$\frac{d}{t} = \frac{54}{60} = 0.90$	**گام سوم)** محاسبه d/t	
	$\frac{N_u}{A_g.f_c} = \frac{3589\times10^3}{(350\times600)28} = 0.61$ $\frac{M_u}{A_g.t.f_c} = \frac{336\times10^6}{(350\times600)\times600\times28} = 0.095$	**گام چهارم)** محاسبه $\frac{N_u}{A_g.f_c}, \frac{M_u}{A_g.t.f_c}$	
	$\rho_t m = 0.42$ $m = \frac{400}{0.85\times28} = 16.8$	**گام پنجم)** با استفاده از دیاگرام مربوطه $\rho_t m$ محاسبه می‌شود. $m = \frac{f_y}{0.85f_c}$	
	$\rho_t m = 0.42$ $\rho_t = \frac{0.42}{16.8} = 0.025$	**گام ششم)** محاسبه ρ_t	

مثال ۴ **طراحی ستون دایره‌ای شکل تحت اثر بار محوری و لنگر خمشی**

ستون دایروی با مشخصات زیر را طرح کنید. قطر ستون برابر 50cm می‌باشد. بارها و لنگرهای مرده و زنده وارد بر ستون به قرار زیر می‌باشند.

مشخصات :

$D = 50\ cm$ — $d = 40\ cm$

$N_D = 360\ KN$ — $N_L = 270\ KN$

$M_D = 137\ KN.m$ — $M_L = 110\ KN.m$

$f'_c = 28\ MPa$ — $f_y = 400\ MPa$

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از دیاگرامها	
	$N_u = 1.25 \times 360 + 1.5 \times 270 = 855\ KN$ $M_u = 1.25 \times 137 + 1.5 \times 110 = 336\ KN.m$	**گام اول)** محاسبه بار و لنگر در حد نهائی $N_u = 1.25\,N_D + 1.5\,N_L$ $M_u = 1.25\,M_D + 1.5\,M_L$	
	$e = \frac{336}{885} = 0.39$ $e/D = \frac{0.39}{0.5} = 0.78\ m$	**گام دوم)** محاسبه خروج از مرکزیت و e/D $e = \frac{M_u}{N_u}$	
	$\frac{d}{D} = \frac{40}{50} = 0.8$	**گام سوم)** محاسبه، e/d	
	$\frac{N_u}{D^2 f_c} = \frac{855 \times 10^3}{(500)^2 \times 28} = 0.122$ $\frac{M_u}{D^3 f_c} = \frac{336 \times 10^6}{(500)^3 \times 28} = 0.096$	**گام چهارم)** محاسبه $\frac{N_u}{D^2 f_c}, \frac{M_u}{D^3 . f_c}$	
	$\rho_t m = 0.46$ $m = \frac{400}{0.85 \times 28} = 16.8$	**گام پنجم)** با استفاده از دیاگرام مربوطه $\rho_t m$ محاسبه می‌شود. $m = \frac{f_y}{0.85 f_c}$	
	$\rho_t m = 0.46$ $\rho_t = \frac{0.46}{16.8} = 0.027$	**گام ششم)** محاسبه ρ_t	

مثال ۵ **طراحی ستون دایره‌ای شکل تحت اثر بار محوری و خمش دو محوره**

ستونی با مقطع دایره و تحت اثر بارهای زیر را طرح کنید. قطر ستون برابر 40 cm است.

مشخصات :

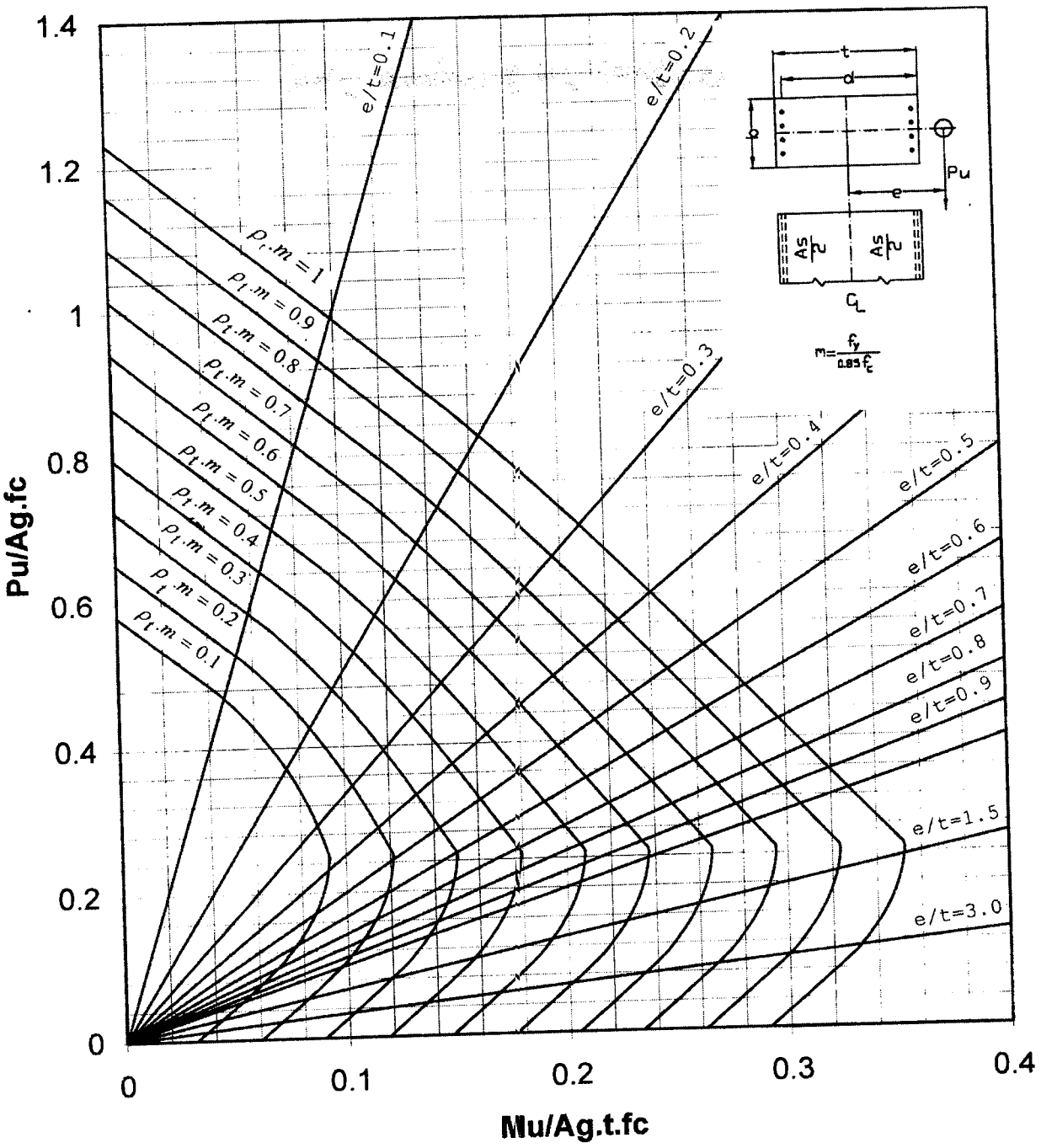
$f_c = 28$ MPa	$f_y = 400$ MPa	$d = 32$ cm
بار محوری	$N_D = 360$ KN	$N_L = 330$ KN
لنگر شرقی- غربی	$M_D = 55$ KN.m	$M_L = 41$ KN.m
لنگر شمالی- جنوبی	$M_D = 71$ KN.m	$M_L = 58$ KN.m

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از دیاگرامها	
	$N_u = 1.25 \times 360 + 1.5 \times 330 = 945$ KN $M_{u1} = 1.25 \times 55 + 1.5 \times 41 = 130.25$ KN.m $M_{u2} = 1.25 \times 71 + 1.5 \times 58 = 175.75$ KN.m $M_u = \sqrt{130.25^2 + 175.75^2} = 218.75$KN.m	**گام اول)** محاسبه بار و لنگر در حد نهائی با توجه به این که ستون دایروی است می‌توان برآیند لنگرهای فوق را به دست آورده و آن را همانند ستونی تحت اثر خمش یک محوره مورد بررسی قرار داد. $N_u = 1.25\,N_D + 1.5\,N_L$ $M_u = 1.25\,M_D + 1.5\,M_L$	۳-۳-۵-۱۰
	$e = \frac{218.75}{945} = 0.23$ $e/D = \frac{0.23}{0.4} = 0.575$ m	**گام دوم)** محاسبه خروج از مرکزیت و e/d $e = \frac{M_u}{N_u}$	
	$\frac{d}{D} = \frac{32}{40} = 0.8$	**گام سوم)** محاسبه d/D	
	$\frac{N_u}{D^2 f_c} = \frac{945 \times 10^3}{(400)^2 \times 28} = 0.21$ $\frac{M_u}{D^3 f_c} = \frac{218.75 \times 10^6}{(400)^3 \times 28} = 0.122$	**گام چهارم)** محاسبه $\frac{N_u}{D^2 f_c}, \frac{M_u}{D^3 . f_c}$	
	$\rho_t m = 0.6$ $m = \frac{400}{0.85 \times 28} = 16.8$	**گام پنجم)** با استفاده از دیاگرام مربوطه $\rho_t m$ محاسبه می‌شود. $m = \frac{f_y}{0.85 f_c}$	
	$\rho_t m = 0.6$ $\rho_u = \frac{0.6}{16.8} = 0.036$	**گام ششم)** محاسبه ρ_t	

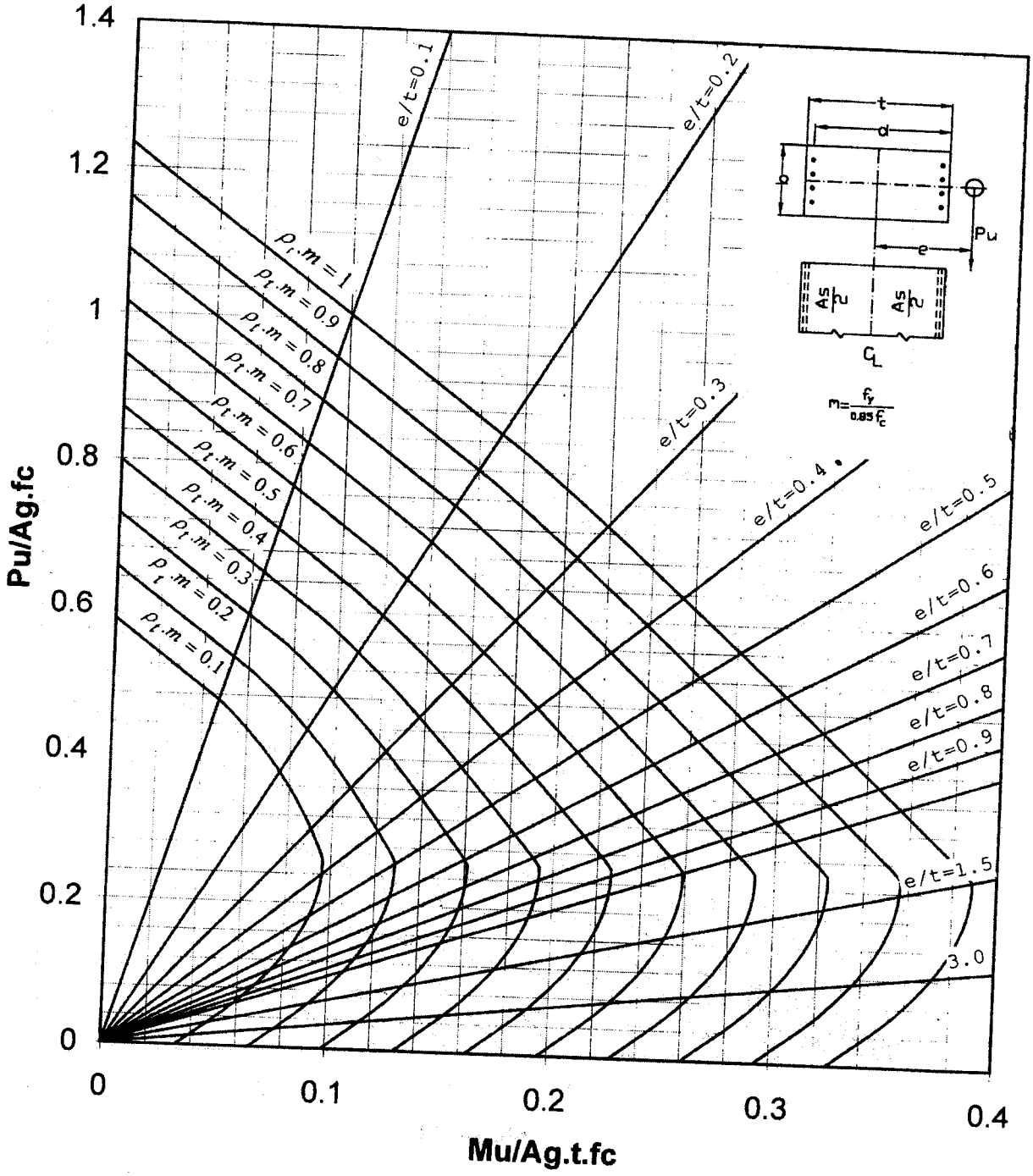
نمودارهای اندرکنش

لنگر خمشی و بار محوری

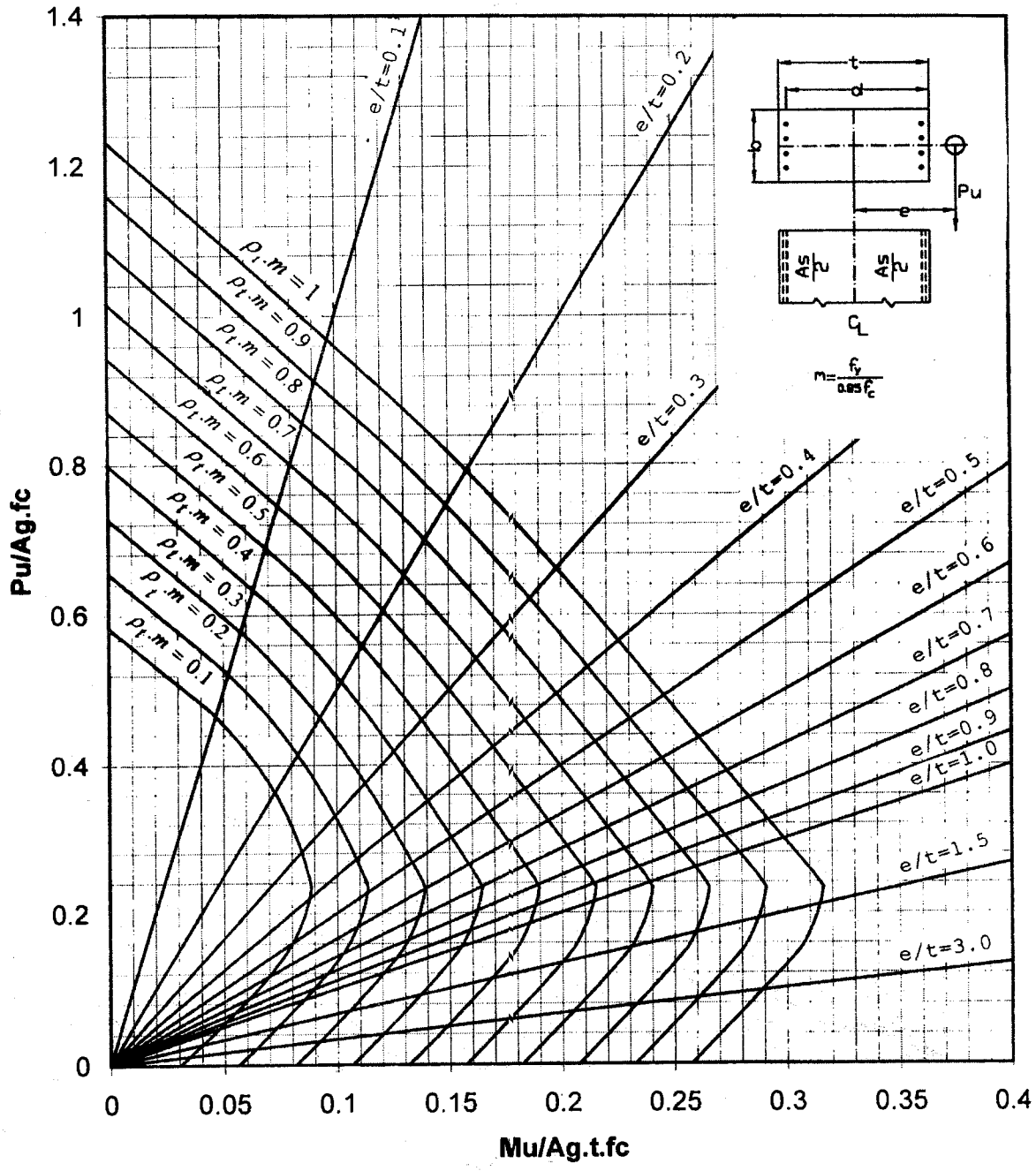
Bending and axial load-rectangular section
d/t=0.9



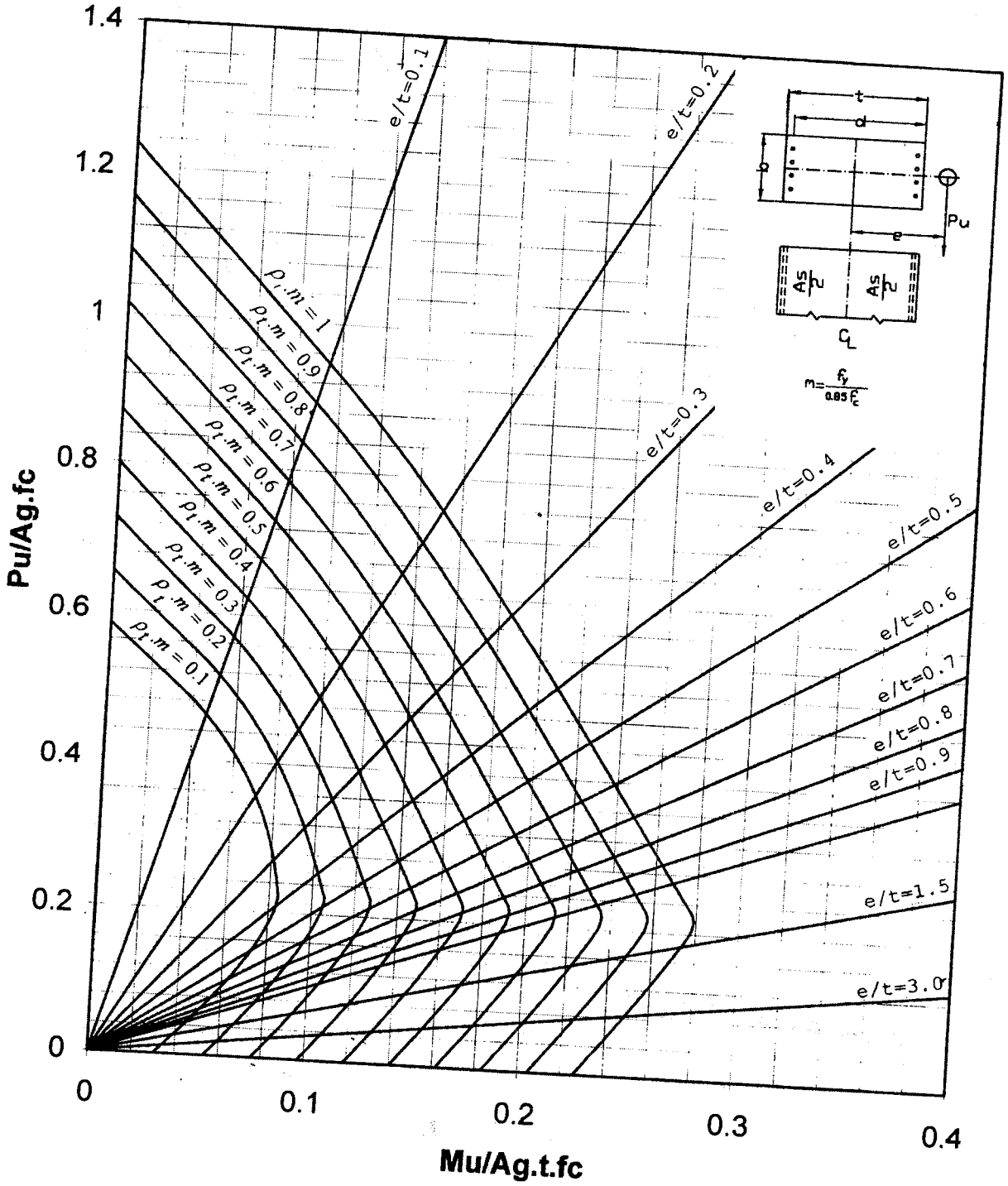
Bending and axial load-rectangular section
d/t=0.95



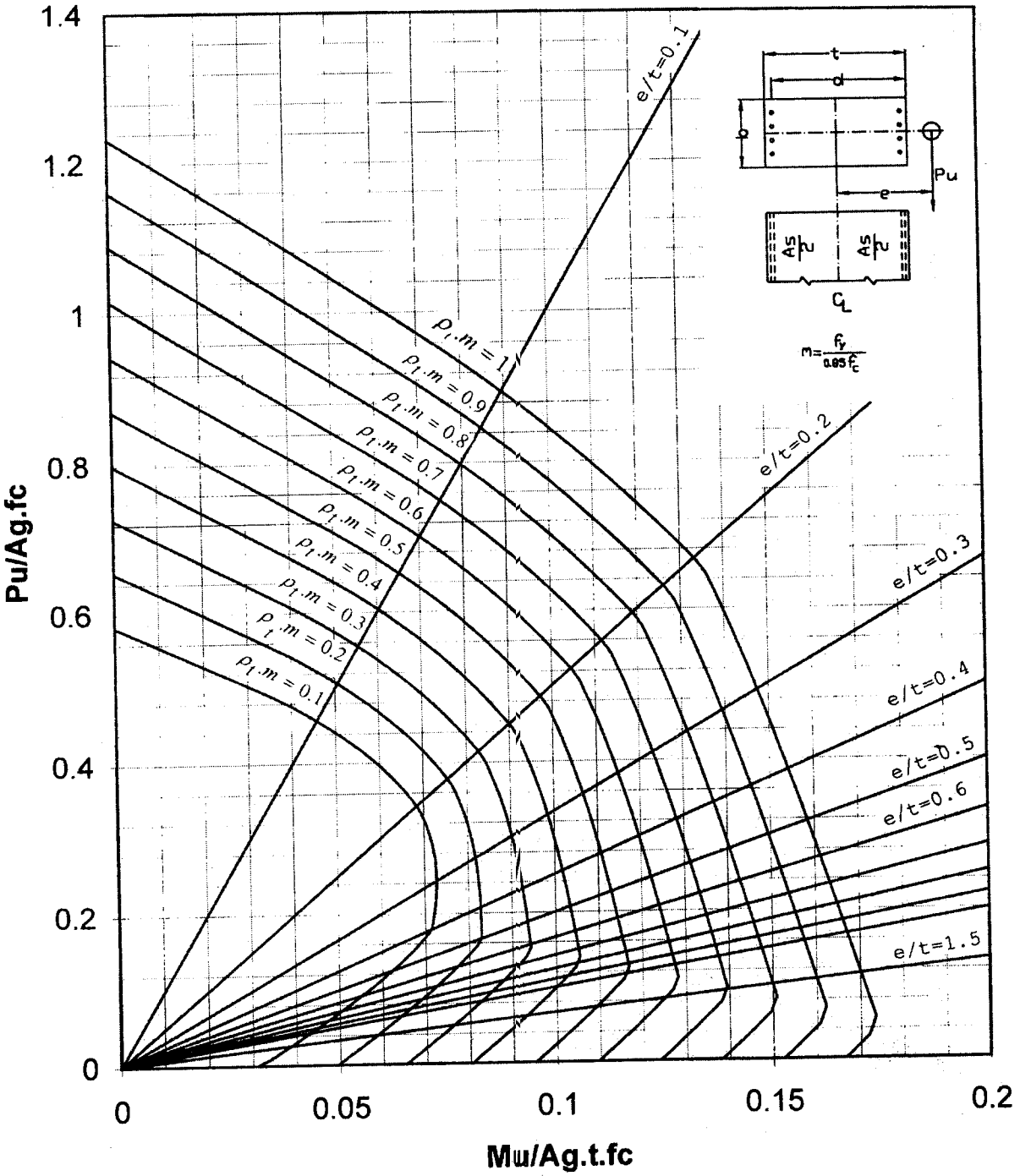
Bending and axial load-rectangular section
d/t=0.85



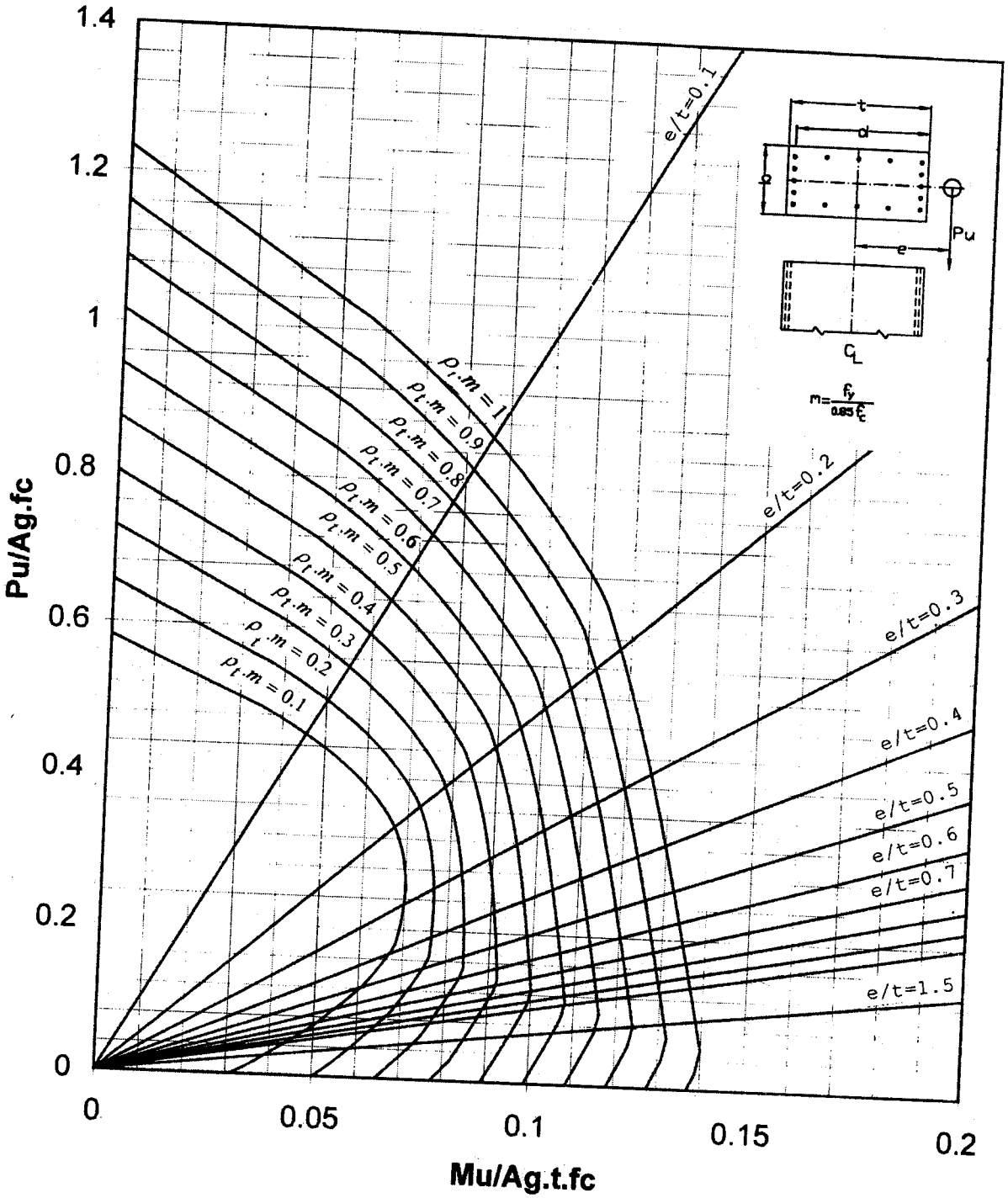
Bending and axial load-rectangular section d/t=0.8



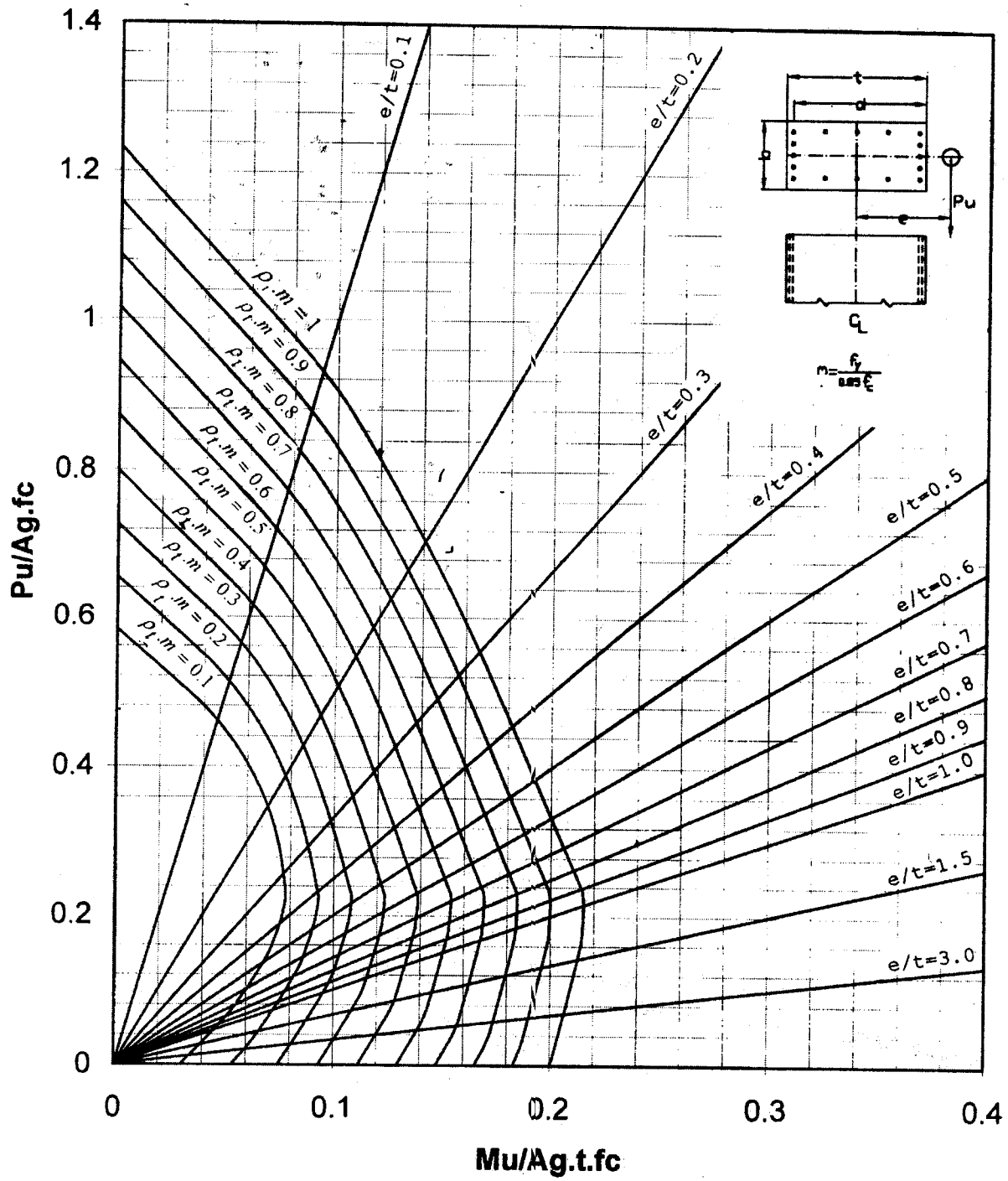
Bending and axial load-rectangular section d/t=0.7



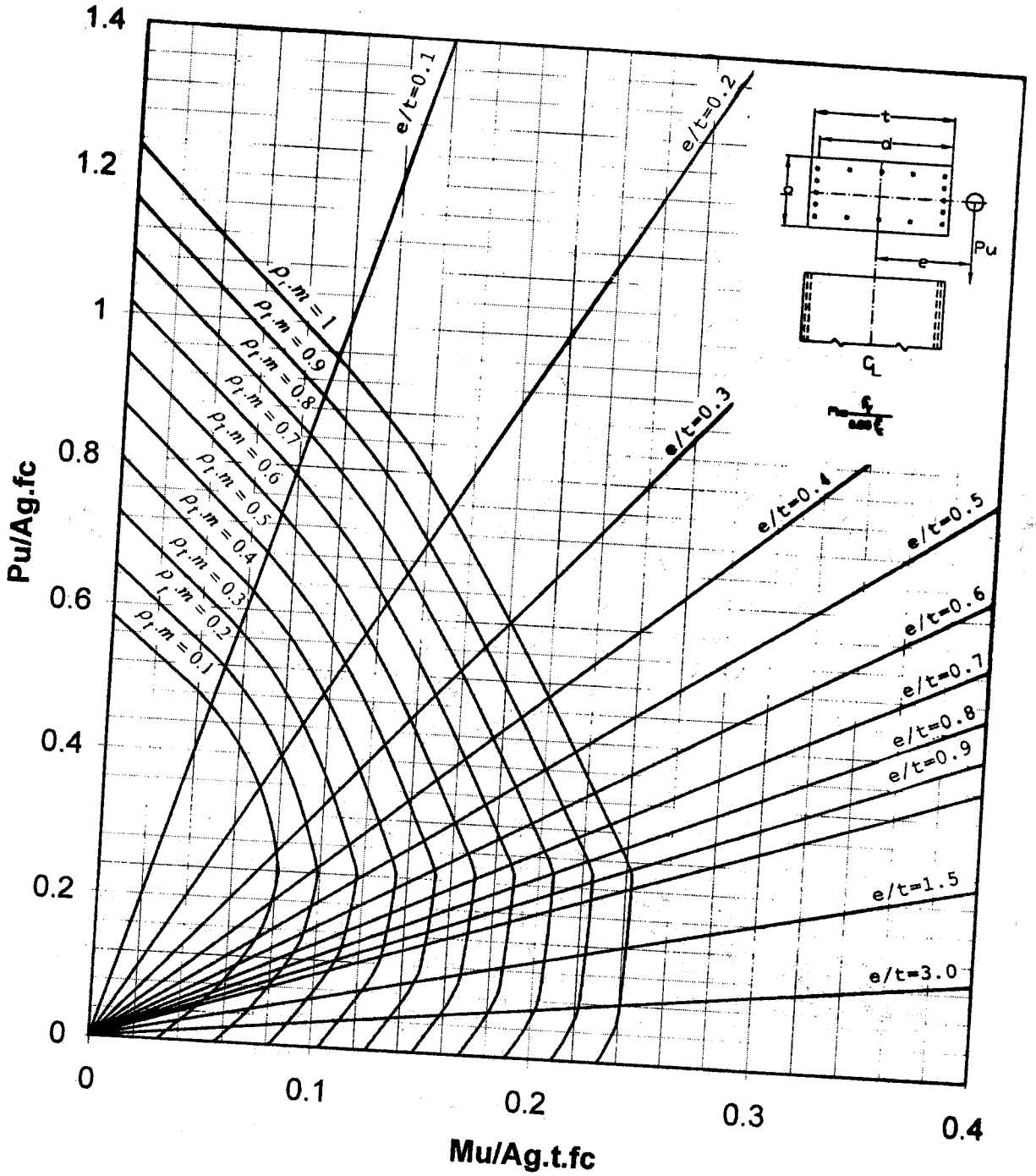
Bending and axial load-rectangular section d/t=0.7



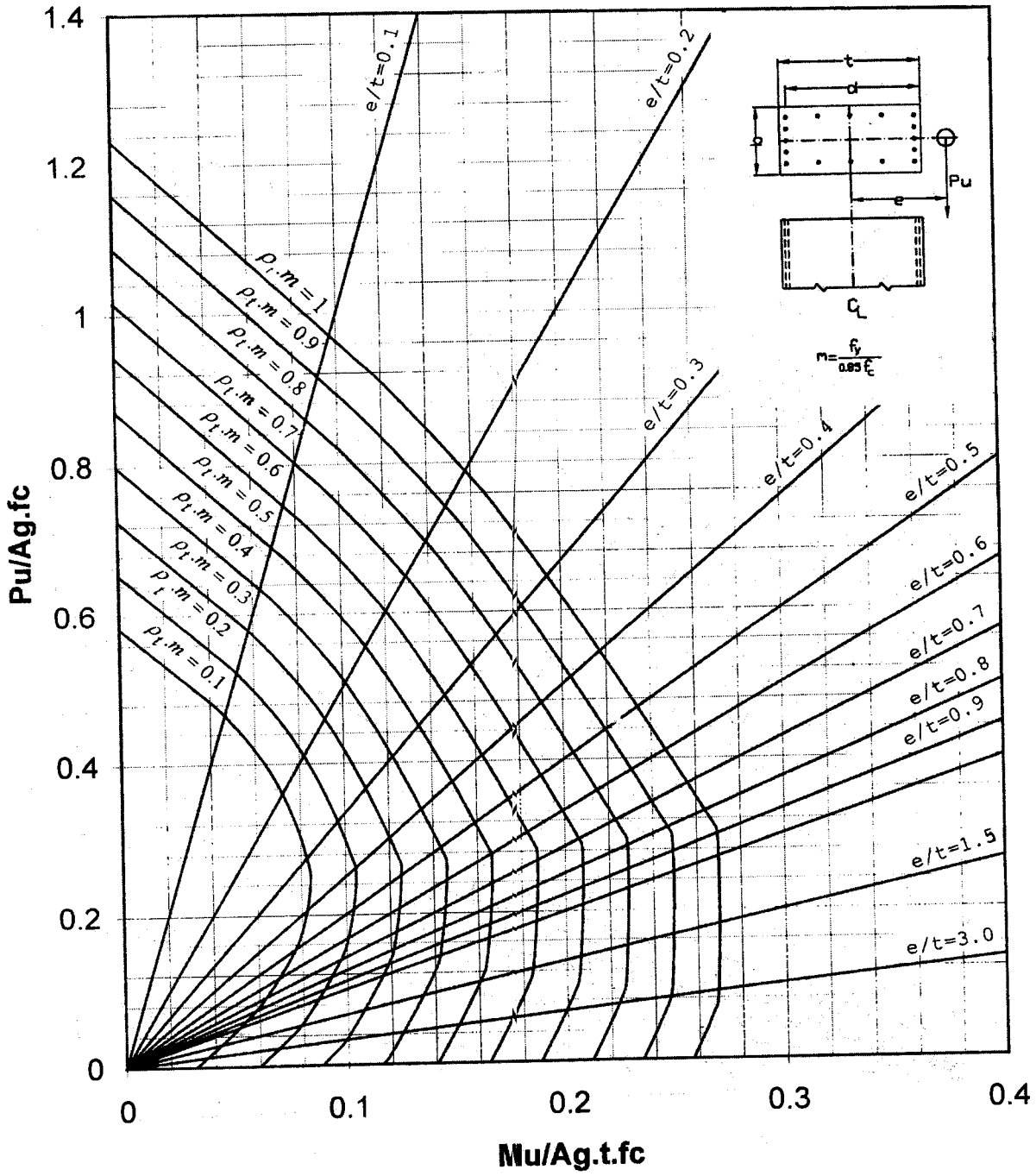
Bending and axial load-rectangular section d/t=0.8



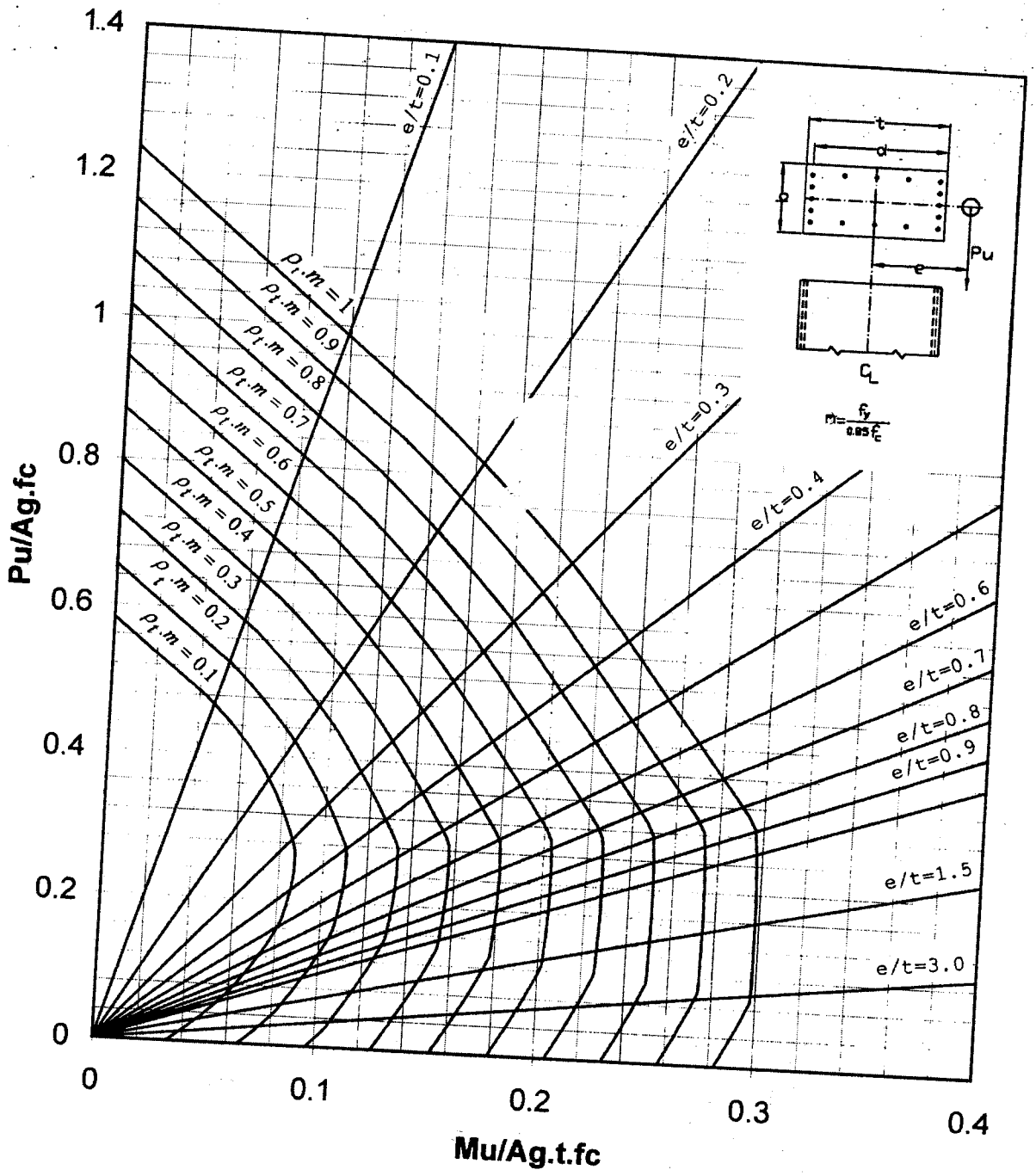
Bending and axial load-rectangular section
d/t=0.85



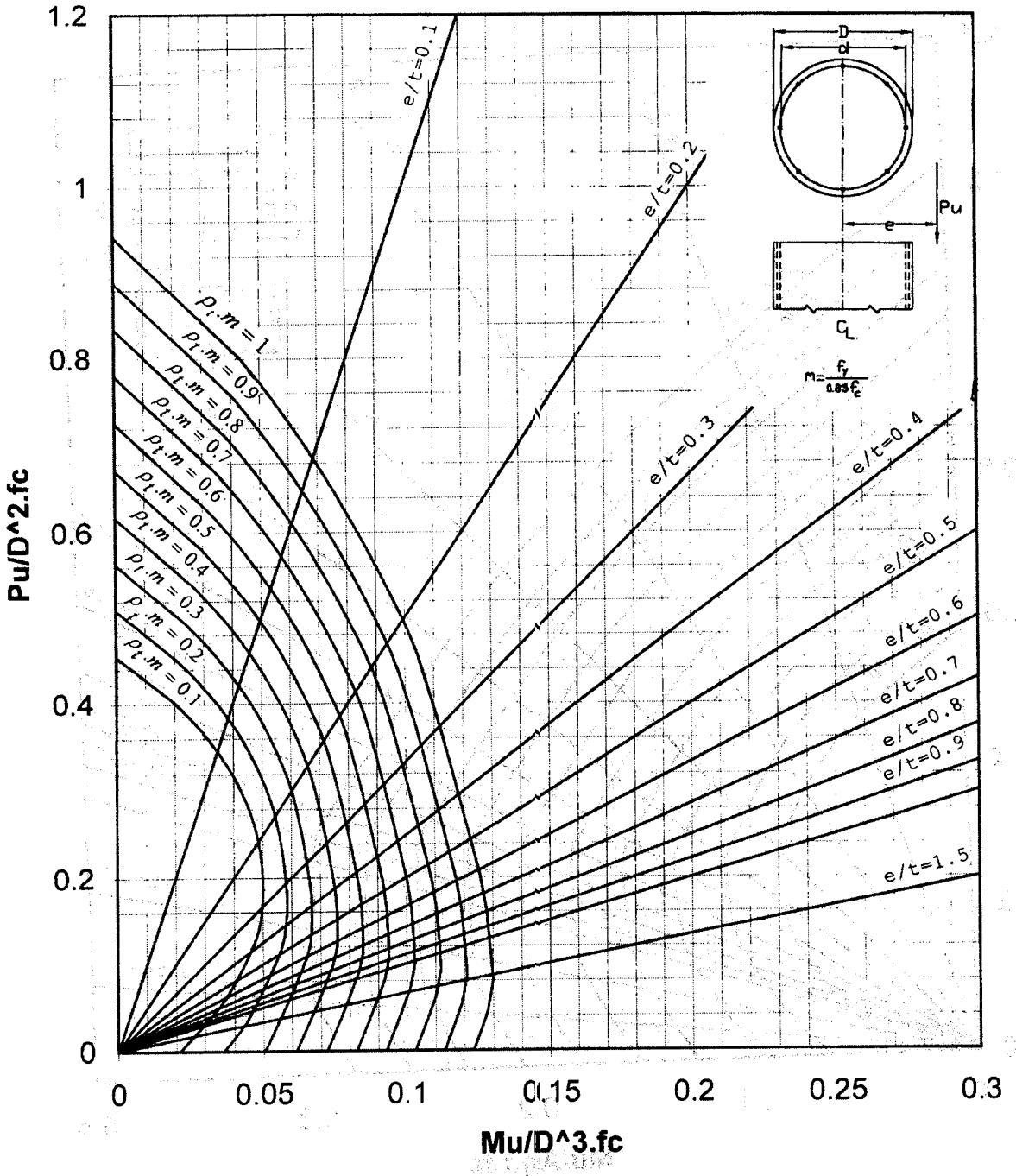
Bending and axial load-rectangular section d/t=0.9

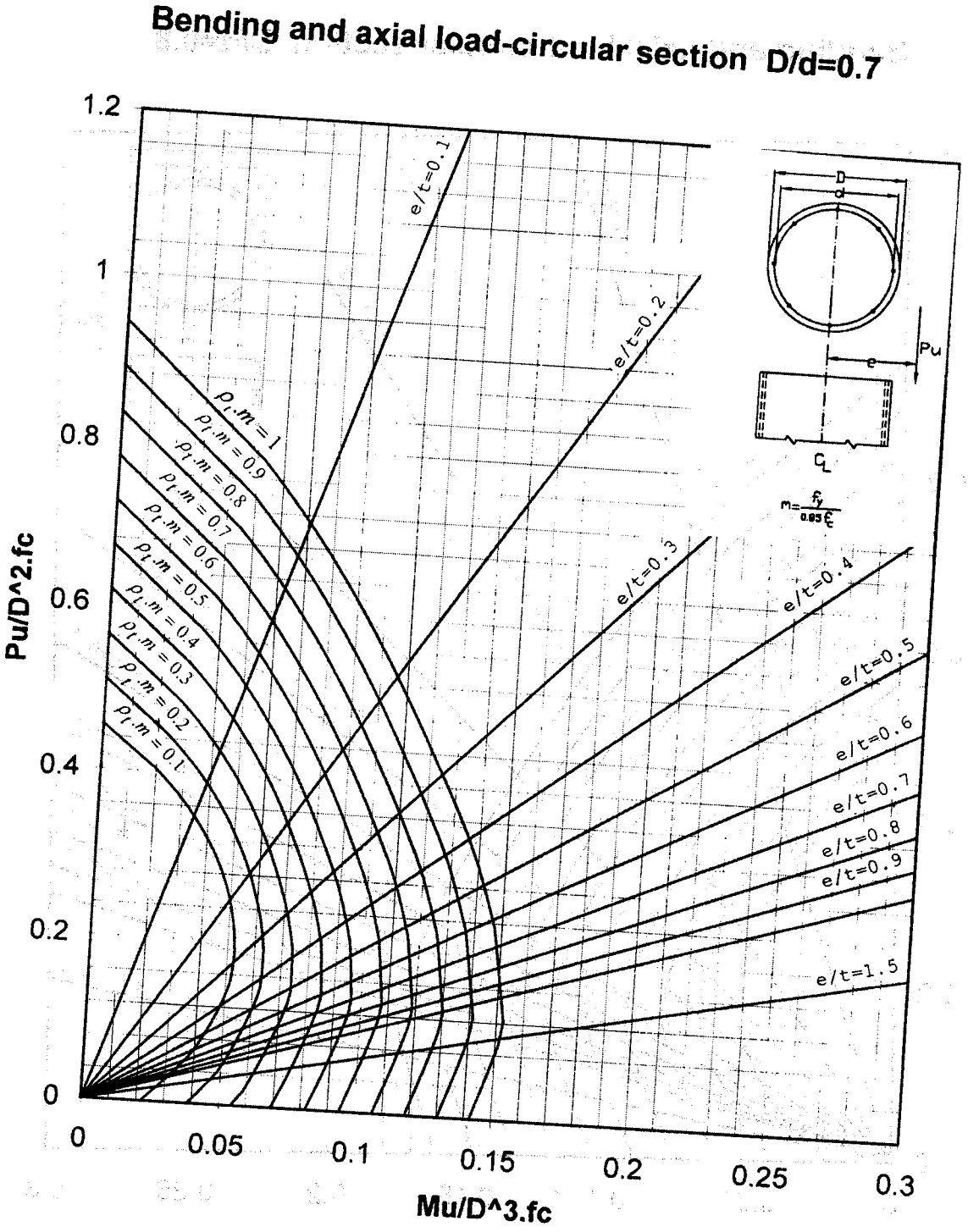


Bending and axial load-rectangular section
d/t=0.95

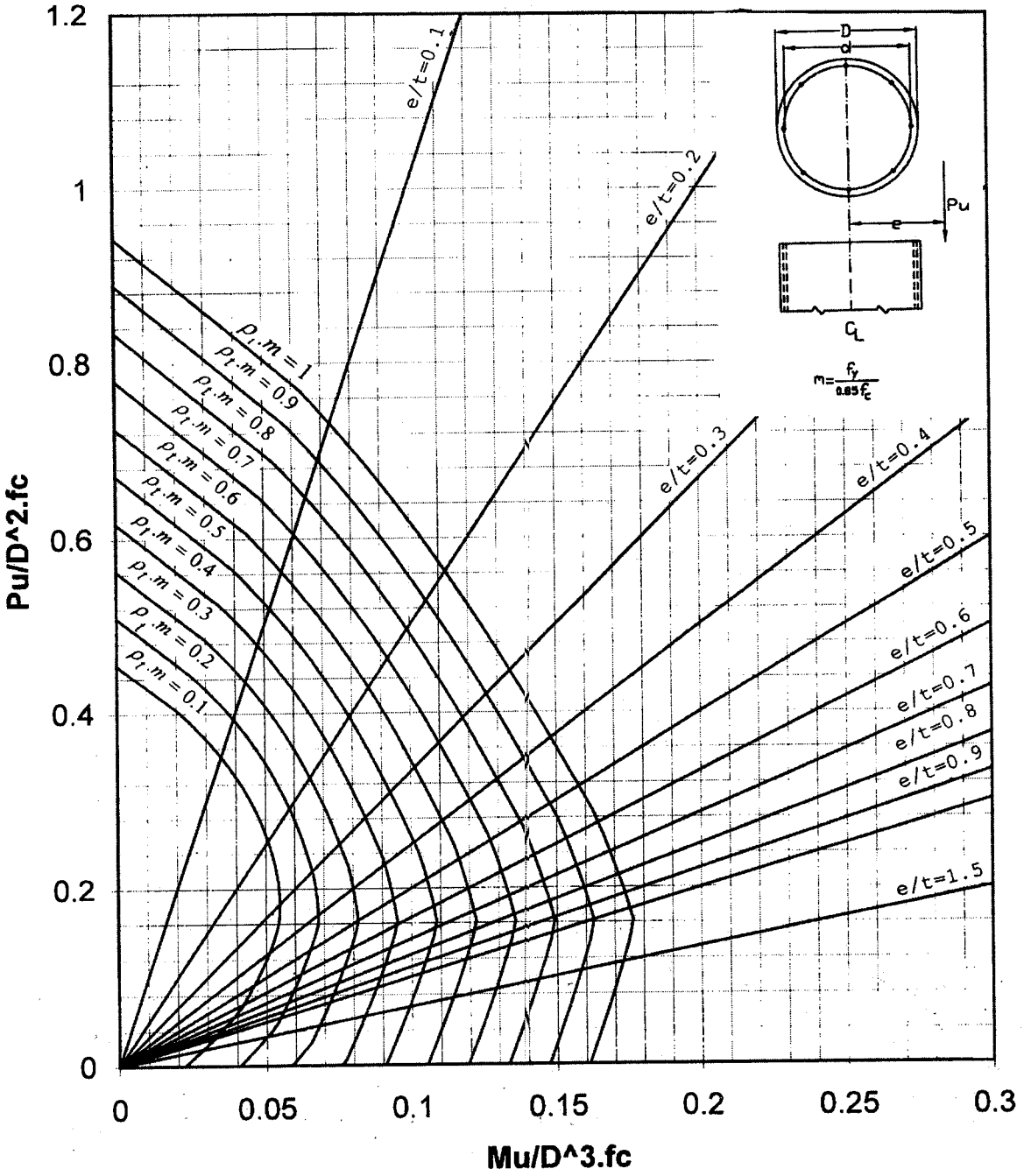


Bending and axial load-circular section D/d=0.6

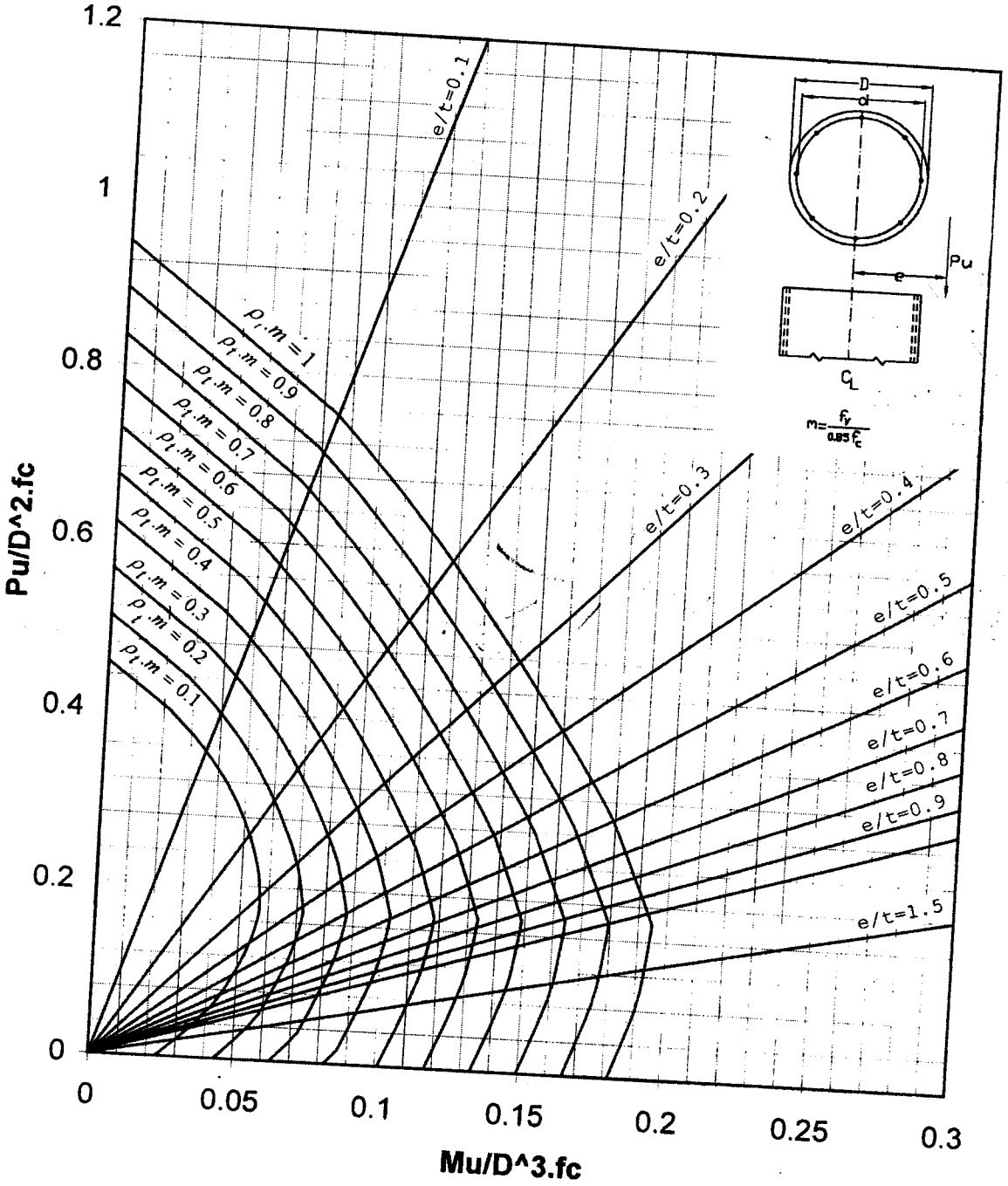



Bending and axial load-circular section D/d=0.7
Pu/D^2.fc
Mu/D^3.fc
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
e/t=0.1
e/t=0.2
e/t=0.3
e/t=0.4
e/t=0.5
e/t=0.6
e/t=0.7
e/t=0.8
e/t=0.9
e/t=1.5
ρt.m=1
ρt.m=0.9
ρt.m=0.8
ρt.m=0.7
ρt.m=0.6
ρt.m=0.5
ρt.m=0.4
ρt.m=0.3
ρt.m=0.2
ρt.m=0.1
D
d
e
Pu
CL
m=fy/0.85fc

Bending and axial load-circular section D/d=0.8



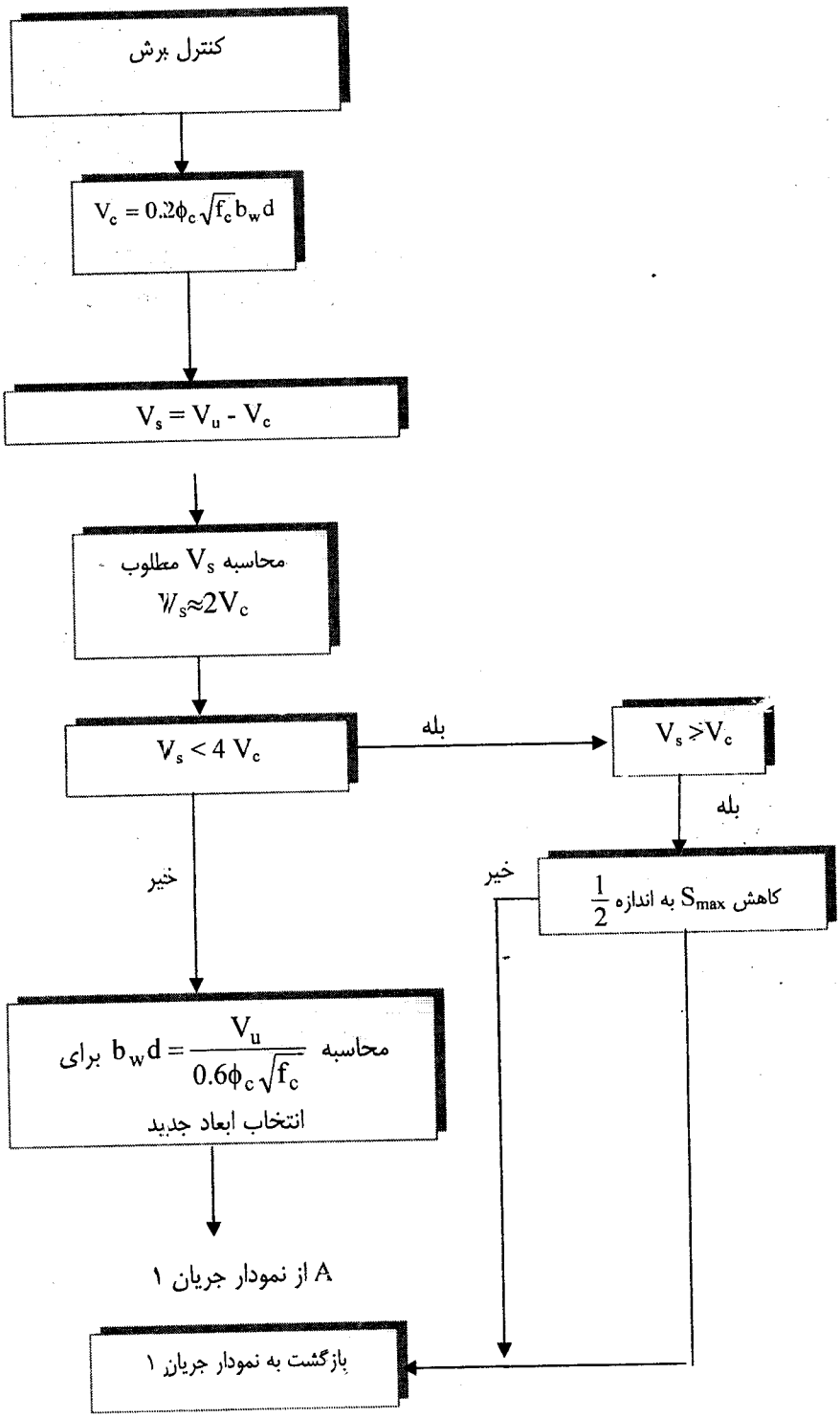
Bending and axial load-circular section D/d=0.9



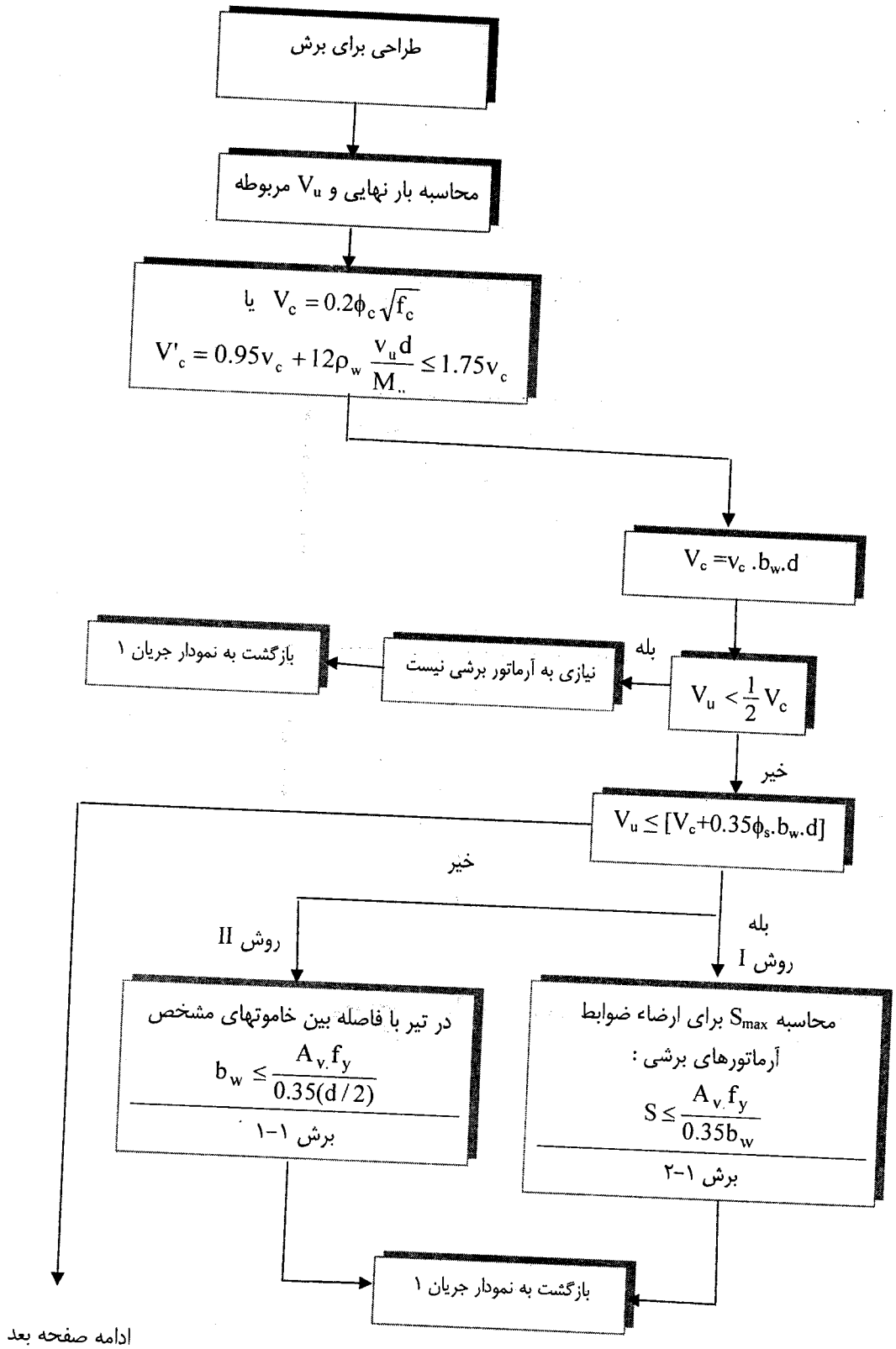


برش و پیچش

نمودار جریان ۱-۲ : کنترل برش برای طراحی تیر بدون محدودیت ارتفاعی

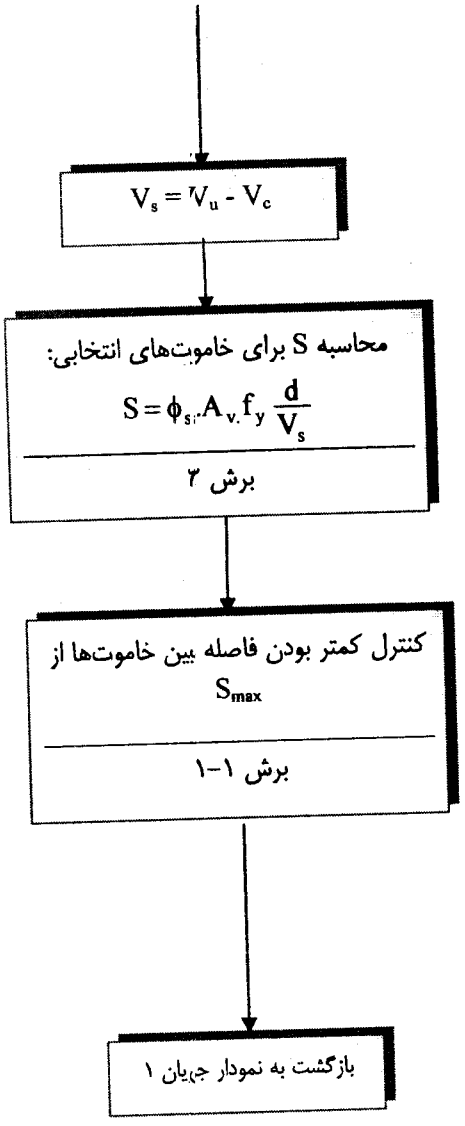


نمودار ۱-۵ :طراحی برای برش در تیر بدون محدودیت ارتفاعی



ادامه صفحه بعد

ادامه نمودار ۱-۵



مثال ۱ طراحی تیر برای برش با استفاده از روابط بند ۱۲-۳-۱، از آئین‌نامه بتن ایران

تیر نشان‌داده شده در شکل زیر را برای برش نهایی V_u طراحی نمائید. مطابق بندهای ۱۲-۵-۳ و ۱۲-۵-۴ این برش می‌تواند در فاصله d از بر تکیه‌گاه اتفاق بیفتد. تیر تحت اثر پیچش قرار ندارد. در صورت لزوم از خاموت‌های قائم Φ10 با حداقل فاصله ممکن استفاده کنید.

مشخصات :

بار زنده = 15 KN/m

بار مرده روی تیر = 11.25 KN/m

$f_c = 20$ MPa

$f_y = 300$ MPa

$b_w = 30$ cm

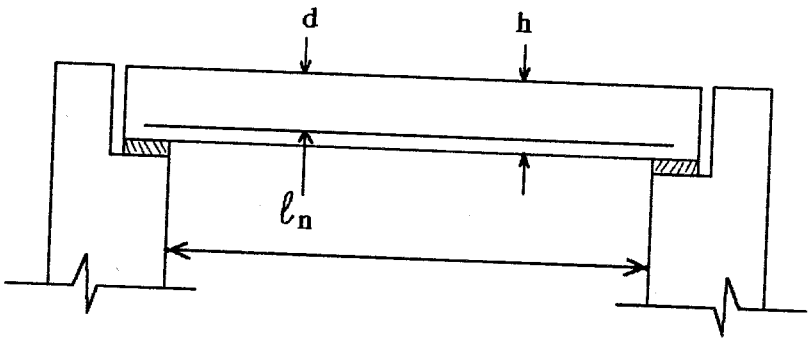
$d = 44$ cm

$h = 50$ cm

$A_s = 20$ cm^2

$\ell_n = 6$ m

وزن مخصوص بتن = 25 KN/m^3



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول) تعیین بار نهایی W_u	
	وزن تیر = $0.3 \times 0.5 \times 25 = 3.75$ KN/m	محاسبه وزن تیر	
	بار مرده کل = 3.75+11.25 = 15 KN/m	بار مرده روی تیر + وزن تیر = بار مرده کل	
	$W_u = 1.25 \times 15 + 1.5 \times 15 = 41.25$ KN/m	$W_u = 1.25$ (بار مرده) + 1.5 (بار زنده)	۱۰-۵-۳-۳

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام دوم) محاسبه V_u در فاصله d از بر تکیه‌گاه	
	$V_u = 41.25 \times (\frac{6}{2} - 0.44) = 105.6 \quad KN$	$V_u = W_u(\frac{\ell_n}{2} - d)$	۴-۵-۱۲
		گام سوم) تعیین مقاومت برشی بتن	
	$V_c = 0.2 \times 0.6\sqrt{20} \times 300 \times 440 = 70839N$ $V_c = 70.8 \quad KN$	$V_c = 0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_w d$	۱-۱-۳-۱۲
		گام چهارم) مقایسه $\frac{1}{2}V_c, V_u$ اگر $V_u > \frac{1}{2}V_c$ باشد، استفاده از آرماتور برشی الزامیست.	
	$105.6 > \frac{70.8}{2}$		۱-۳-۶-۱۲
		گام پنجم) محاسبه V_s	
	$V_s = 105.6 - 70.8 = 34.8 \quad KN$	$V_s = V_u - V_c$	۲-۲-۱۲
		گام ششم) مقایسه V_{smax} , V_s	
	$V_{smax} = 4 \times 70.8 = 283.2 \quad KN > V_s \quad O.K.$ پس ابعاد تیر به اندازه کافی بزرگ می‌باشند.	$V_{smax} = 4 \times V_c$	۳-۴-۱۲
		گام هفتم) محاسبه S با فرض استفاده از $\phi 10 (A_v = 2 \times 0.79 cm^2)$ به عنوان خاموت	
	$S = 0.85 \times (2 \times 0.79 \times 10^{-4}) \times 300 \times \frac{0.44}{34.8 \times 10^{-3}}$ $S = 0.509 \text{ m} = 50.9 \text{ cm}$	$S = \phi_s A_v f_y \frac{d}{V_s}$	۱-۲-۴-۱۲

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$S_{max} = \frac{44}{2} = 22\ cm < 50.9$ $S = 22\ cm$ بنابراین :	$S_{max} = \frac{d}{2}$	۱-۴-۶-۱۲
	$A_{V\,min} = 0.35 \times \frac{0.3 \times 0.22}{300} = 0.77 \times 10^{-4}\ m^2$ $A_{Vmin} = 0.77\ cm^2 < 2 \times 0.79$ O.K.	**گام هشتم)** مقایسه A_{vmin} A_v $A_{V\,min} = 0.35 \frac{b_w . s}{f_y}$	۱-۳-۶-۱۲
برش ۲-۱	برای d=44cm و خاموتهای Φ10 و $S_{max} = \frac{d}{2} = 22cm$ داریم: $Vs = 80\ KN$ که بزرگتر از 34.8 KN می‌باشد، بنابراین : $S = \frac{d}{2} = 22$	**ب : با استفاده از جداول** گام‌های اول تا ششم همانند قسمت الف می‌باشند. **گام هفتم)** تعیین فاصله بین خاموت‌ها در حالتیکه $f_y = 300\ MPa\ ,\ V_s = 34.8\ KN$	۱-۲-۴-۱۲ ۱-۴-۶-۱۲
برش ۱-۱	برای d=44cm و خاموتهای Φ10 و $f_y = 300\ MPa$ داریم: $b_{Wmax} = 59\ cm$ که بزرگتر از 30 cm است. بنابراین ضوابط مربوط به A_{Vmin} رعایت شده است.	**گام هشتم)** تعیین حداکثر عرض تیر،در صورتی که $S = \frac{d}{2}$	۱-۳-۶-۱۲

مثال ۲ **تعیین مقاومت برشی بتن در تیر،با استفاده از روابط بند ۱۲-۳-۲، از آیین‌نامه بتن ایران**

برای تیر نشان‌داده شده در شکل زیر، مقاومت برشی تامین شده توسط بتن V_c را در فاصله d از بر تکیه‌گاه تعیین نمایید. بار نهایی W_u بطور یکنواخت روی سراسر تیر گسترده است.

مشخصات :

$w_u = 41.25$ KN/m

$f_c = 20$ MPa

$f_y = 300$ MPa

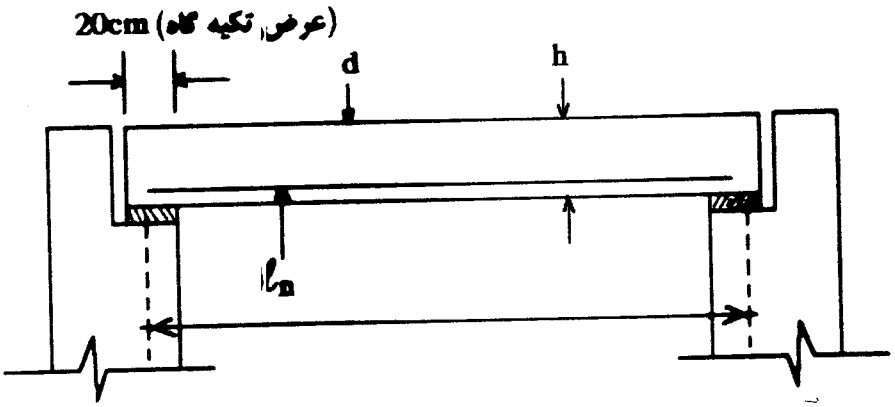
$b_w = 30$ MPa

$d = 44$ cm

$h = 50$ cm

$A_s = 20$ cm^2

$\ell = 6.2$ m



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام اول)	
	$x = d + 10 = 44 + 10 = 54$ cm	محاسبه M_u در فاصله d از بر تکیه‌گاه چون عرض تکیه‌گاه 20cm می‌باشد، فاصله d از بر تکیه‌گاه برابر فاصله d+10cm از مرکز تکیه‌گاه است.	
	$M_u = \frac{41.25}{2}(0.54)(6.2 - 0.54)$ $M_u = 63$ KN.m	$M_u = \frac{W_u}{2}(x)(\ell - x)$	
		گام دوم)	
	$\rho_w = \frac{20}{30 \times 44} = 0.015$	محاسبه ρ_w $\rho_w = \frac{A_s}{b_w d}$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام سوم) محاسبه V_u در فاصله d از بر تکیه‌گاه $V_u = W_u(\frac{\ell}{2} - x)$	
	$V_u = 41.25(\frac{6.2}{2} - 0.54)$ $V_u = 105.6 \quad KN$		
		گام چهارم) محاسبه $\frac{v_u.d}{M_u}$	۱-۲-۳-۱۲
	$\frac{v_u.d}{M_u} = \frac{105.6 \times 0.44}{63} = 0.7375 \quad O.K$		
		گام پنجم) محاسبه V_c	
	$V_c = (0.95 \times 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} + 12 \times 0.015 \times 0.7375) \times (0.3 \times 0.44) \times 10^3 = 84.8KN$	$V_c = (0.95 \times 0.2 \times \phi_c \sqrt{f_c} + 12\rho_w \frac{v_u.d}{M_u}) b_w d$	۱-۲-۳-۱۲
	$V_{C\max} = 1.75 \times 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} \times 0.3 \times 0.44 \times 10^3$ $V_{C\max} = 123.97KN > V_c O.K.$		

مثال ۳ **طراحی خاموت‌های قائم برای تیری که دیاگرام برش آن بصورت مثلثی است.**

برای دیاگرام برش زیر، فاصله خاموت‌های Φ10 را تعیین کنید.

مشخصات :

$V_u = 455$ KN

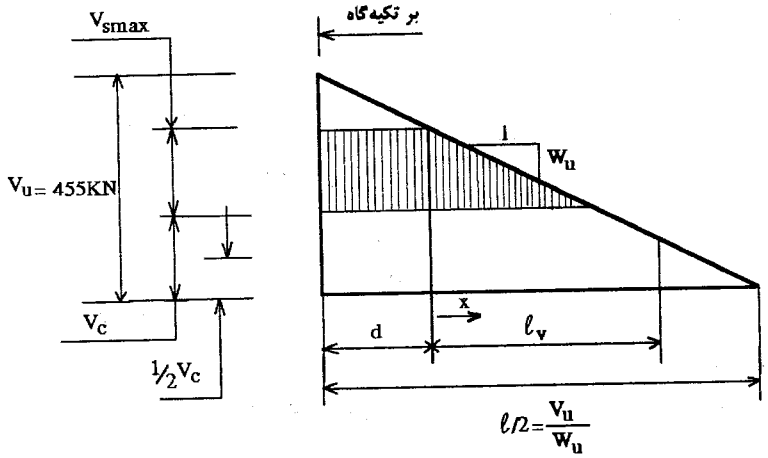
$w_u = 100$ KN/m

$f_c = 30$ MPa

$f_y = 400$ MPa

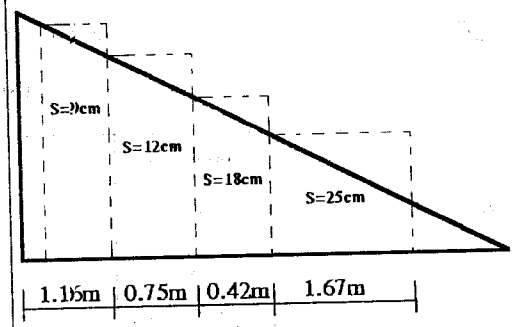
$b_w = 35$ cm

$d = 50$ cm



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیل	
		گام اول)	
		کنترل ارتفاع موثر تیر (d) با توجه بـه طـول گیرایی میلگردهای برشی	
	$f_b = 0.65\sqrt{30} = 3.56$	$f_b = f_{bm} = 0.65\sqrt{f_c}$	۲-۲-۲-۱۸
	$\ell'_d = \frac{(1\times10^{-2})\times400}{4\times3.56} = 0.28m < 0.3$	$\ell_d = \ell_{db} = \frac{d_b}{4f_b} f_y \geq 0.3m$	۳-۲-۲-۱۸
	$\ell_{cl} = 0.3$ m $= 30$cm $d_{min} = 30+2+2\times1+2\times3.5$ $d_{min} = 41$ cm < 50 cm O.K.	$d_{min} = \ell_d$+قطر میلگردطولی)×۲+(قطر خاموت) + ۲ × (پوشش بتنی)	۴-۲-۲-۱۸
		گام دوم)	
	$V_u = 455-100\times0.5=405$ KN	محاسبه V_u در فاصله d از بر تکیه‌گاه $V_u = V_{end} - W_u.d$	۴-۵-۱۲

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام سوم) محاسبه V_c	
	$V_c = 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{30} \times 0.35 \times 0.5 \times 10^{-3}$ $V_c = 115$ KN	$V_c = 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_w . d$	۱-۱-۳-۱۲
		گام چهارم) محاسبه V_s	
	$V_s = 405\text{-}115 = 290$ KN	$V_s = V_u - V_c$	۲-۲-۱۲
	$V_{smax} = 4 \times 115 = 460$ KN $> V_c$ O.K.	$V_{smax} = 4V_c$	۳-۴-۱۲
		گام پنجم) محاسبه S	
	$S = 0.85 \times (2 \times 0.79 \times 10^{-4}) \times 400 \times \frac{0.5}{290 \times 10^{-3}}$ $S = 0.093$ m $= 9.3$ cm s = 9 cm	$S = \phi_s A_v f_y \frac{d}{V_s}$	۱-۲-۴-۱۲
		گام ششم) افزایش فاصله خاموت‌ها در قسمت‌هایی که برش کمتر است. فواصل بین خاموت‌های انتخابی : 12cm , 18cm, $\frac{d}{2} = 25$cm	۱-۴-۶-۱۲
	$V_s = 0.85 \times (2 \times 0.79 \times 10^{-4}) \times 400 \times \frac{0.5}{s} \times 10^3$ $V_s = \frac{26.86}{s}$ V_s و s به ترتیب بر حسب KN و m می‌باشند. $S_1 = 0.12$ m $\rightarrow V_{s1} = 223.8$ KN.m $S_2 = 0.18$ m $\rightarrow V_{s2} = 149.2$ KN.m $S_3 = 0.25$ m $\rightarrow V_{s3} = 107.4$ KN.m $x_1 + d = (290\text{-}223.8)/_{100} + 0.5 = 1.16$ m $x_2 + d = (290\text{-}149.2)/_{100} + 0.5 = 1.91$ m $x_3 + d = (290\text{-}107.4)/_{100} + 0.5 = 2.33$ m	$V_s = \phi_s A_v f_y \frac{d}{s}$ محاسبه فاصله x+d از بر تکیه‌گاه برای Sهای انتخابی $x_i + d = (V_{sd} - V_{si})/W_u + d$	۱-۲-۴-۱۲

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$A_{v\min} = 0.35\frac{0.35\times 0.25}{400} = 7.65\times 10^{-5}\ m^2$ $A_{v\min} = 0.765\ cm^2 < 2\times 0.79$ O.K.	**گام هفتم)** محاسبه $A_{v\min}$ $A_{v\min} = 0.35\frac{b_w.s}{f_y}$	۱۲-۶-۳-۱
	$\ell_v + d = (405 - \frac{1}{2}\times 115)/100 + 0.5$ $\ell_v + d + 3.98 = 4\ m$	**گام هشتم)** تعیین طولی از تیر که نیاز به آرماتور برشی دارد. $\ell_v + d = (V_{ud} - \frac{1}{2}V_c)/w_u + d$	
	 با توجه به دیاگرام فوق تعداد خاموت‌ها 10 Φ و فاصله بین آنها برابر خواهد بود با: 14 @ 9 cm , 6 @ 12 , 2 @ 18 , 7 @ 25cm بهتر است یک خاموت، بین خاموت‌های اول و دوم اضافه نمود. مجموع خاموت‌ها = 2×(14+6+2+7+1)=60 فاصله اولین خاموت از بر تکیه‌گاه 5cm می‌باشد.	**گام نهم)** خاموت‌گذاری تیر برای اولین خاموت فاصله بین خاموت ها را نصف کنید. تذکر : در قسمت‌هایی از تیر که مقدار V_s بین $2V_c$ و $4V_c$ قرار دارد، حداکثر فاصله مجاز خاموت‌ها برابر $\frac{d}{4}$ می‌باشد.	۱۲-۶-۴-۳

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
برش ۲-۲	برای $f_y = 400MPa$ و خاموت‌های Φ 10 و $d=50cm$ و $V_s = 290\ KN$ داریم: $S = 9\ cm$	**ب : با استفاده از جداول** گـام‌هـای اول تـا چهـارم هماننـد قسـمت الـف می‌باشند. **گام پنجم)** محاسبه S	۱-۲-۴-۱۲
برش ۲-۲	برای $f_y = 400MPa$ و خاموت‌های Φ 10 و $d=50cm$ داریم: $S_1 = 0.12\ m \rightarrow V_{s1} = 214\ KN.m$ $S_2 = 0.18\ m \rightarrow V_{s2} = 153\ KN.m$ $S_3 = 0.25\ m \rightarrow V_{s3} = 107\ KN.m$	**گام ششم)** افزایش فاصله خاموت‌ها در قسمت‌هایی که برش کمتر است. فواصل بین خاموت‌های انتخابی : $12cm\ ,\ 18cm, \frac{d}{2} = 25cm$ تذکر : گام‌های بعد همانند قسمت الف می‌باشند.	۱-۴-۶-۱۲

مثال ۴ **طراحی خاموت‌های قائم برای تیری که دیاگرام برش آن بصورت ذوزنقه و مثلث است.**

برای دیاگرام برش زیر، فاصله خاموت‌های Φ10 را تعیین کنید.

: مشخصات

$b_w = 35$ cm

$d = 50$ cm

$f_c = 30$ MPa

$f_y = 400$ MPa

$x_1 = 0.55$ m

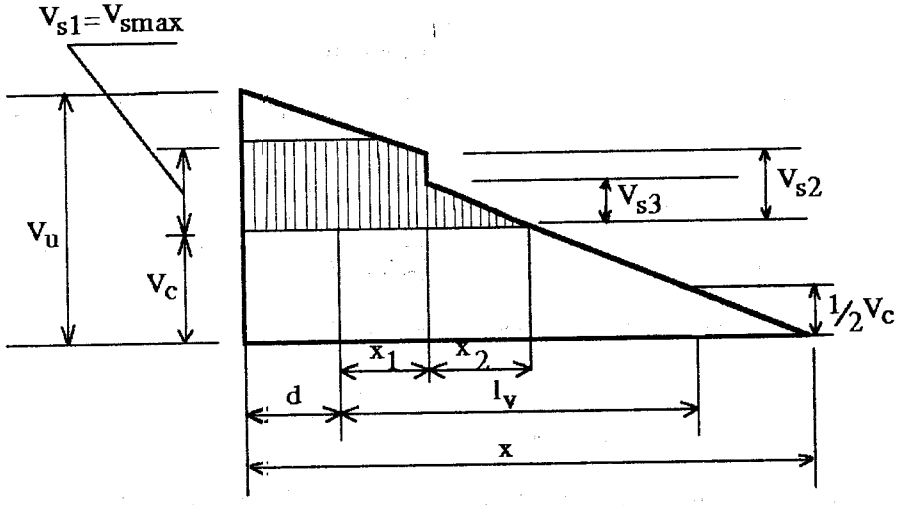
$x_2 = 0.70$ m

$\ell_v = 1.70$ m

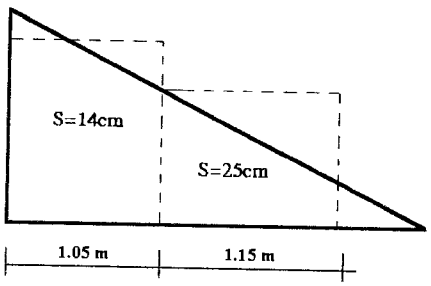
$V_{s1} = 195$ KN

$V_{s2} = 130$ KN

$V_{s3} = 75$ KN



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیل	
		گام اول)	
		کنترل ارتفاع موثر تیر (d) با توجه به طول گیرایی میلگردهای برشی	
	$f_b = 0.65\sqrt{30} = 3.56$	$f_b = f_{bm} = 0.65\sqrt{f_c}$	
	$\ell_d = \frac{(1\times10^{-2})\times400}{4\times3.56} = 0.28\text{m} < 0.3$	$\ell_d = \ell_{db} = \frac{d_b f_y}{4f_b} \geq 0.3\text{m}$	۲-۲-۲-۱۸
	$\ell_d = 0.3$ m $= 30$cm		۳-۲-۲-۱۸
	$d_{min} = 30+2+2\times1+2\times3.5$	$d_{min} =$ (قطر خاموت)× ۲+ قطر میلگردطولی+ℓ_d (پوشش بتنی) × ۲+	۴-۲-۲-۱۸
	$d_{min} = 41$ cm < 50 cm O.K.		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام دوم) **محاسبه V_c**	
	$V_c = 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{30} \times 0.35 \times 0.5 \times 10^3$ $Vc = 115\ KN$ $2V_c = 230KN > V_{s\max} \rightarrow S_{max} = \frac{d}{2}$ $S_{s\max} = \frac{d}{2} = \frac{50}{2} = 25cm$	$V_c = 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_w d$ در این مرحله S_{max} را بدست می‌آوریم: اگر : $(V_{s\max} \le 2V_c) \rightarrow S_{max} = \frac{d}{2}$ اگر : $(2V_c < V_{s\max} \le 4V_c) \rightarrow S_{max} = \frac{d}{4}$	۱-۱-۳-۱۲ ۱-۴-۶-۱۲ ۳-۴-۶-۱۲ ۳-۴-۱۲
		گام سوم) محاسبه A_{vmin}	
	$A_{V\min} = 0.35 \frac{0.35 \times 0.25}{400} = 7.65 \times 10^{-5} m^2$ $A_{V\min} = 0.765\ cm^2 < 2 \times 0.79$ O.K.	$A_{V\min} = 0.35 \frac{b_w . s}{f_y}$	
		گام چهارم) محاسبه S	۱-۲-۴-۱۲
	$S = 0.85 \times (2 \times 0.79 \times 10^{-4}) \times 400 \times \frac{0.5}{V_s}$ $S = \frac{0.02686}{V_s}$ $V_s = 195KN \rightarrow s = \frac{0.02686}{195 \times 10^{-3}} \rightarrow s = 0.14m$ $V_s = 75\ KN \rightarrow s = \frac{0.02686}{75 \times 10^{-3}} \rightarrow s = 0.36m > \frac{d}{2}$	$S = \phi_s A_v f_y \frac{d}{V_s}$	
	 با توجه به دیاگرام فوق تعداد خاموت‌های Φ 10 و فاصله بین آنها برابر خواهد بود با: 9 @ 14 cm , 5 @ 25 cm فاصله اولین خاموت از بر تکیه‌گاه 5cm می‌باشد.	**گام پنجم)** خاموت‌گذاری تیر	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
برش ۲-۲	برای $f_y = 400MPa$ و $\frac{d}{2} = 25cm$ داریم: b_{wmax}= 72 cm که بزرگتر از 35 cm است. بنابراین: $S_{max} = \frac{d}{2} = 25cm$	**ب : با استفاده از جداول** گام‌های اول و دوم همانند قسمت الف می‌باشند. **گام سوم)** محاسبه حداکثر فاصله مجاز بین خاموتها حداکثر فاصله مجاز بین خاموت‌ها توسط رابطه $\frac{d}{2}$ و یا A_{vmin} تعیین می‌شود. برای b_w=35 cm و $\frac{d}{2} = 25cm$ با استفاده از جدول S_{max} تعیین می‌شود.	۱۲-۶-۴-۱ ۱۲-۶-۳-۱
برش ۲-۲	برای f_y=400MPa و d=50cm و خاموت Φ 10 داریم: $(V_s$=195 KN) → S = 14 m $(V_s$=75 KN) → S = S_{max} = 25 cm	**گام چهارم)** محاسبه S	
		گام پنجم همانند قسمت الف می‌باشد.	

مثال ۵ **طراحی خاموت‌های مایل برای تیری که دیاگرام برش آن بصورت مثلثی است.**

مثال ۳ را با این فرض که خاموت‌های Φ10 بصورت مایل و با زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق قرار داده می‌شوند، بررسی نمائید.

مشخصات :

$V_u = 455$ KN در بر تکیه‌گاه

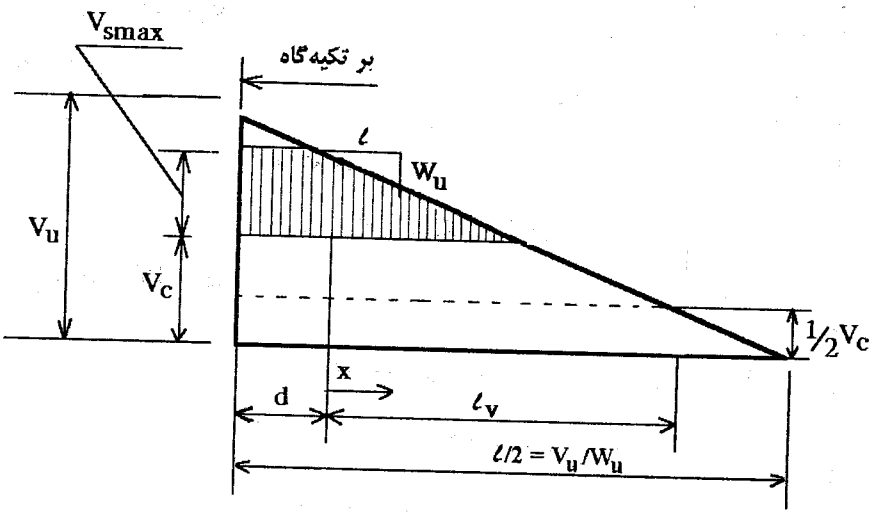
$w_u = 100$ KN/m

$f_c = 30$ MPa

$f_y = 400$ MPa

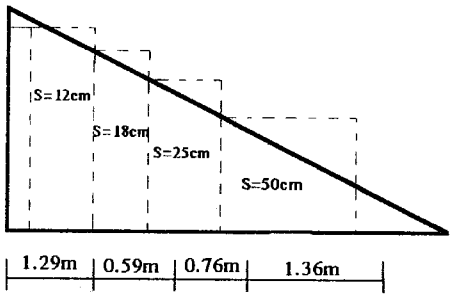
$b_w = 35$ cm

$d = 50$ cm



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیل **گام اول)** کنترل طول گیرایی خاموت‌های مایل با ضرب کردن ارتفاع موثر تیر (d) در 1.4 و مقایسه d_{min} با آن.	
	$d_a = 1.4 \times 50 = 70$ cm با توجه به مثال ۳ : $d_{min} = 41$ cm $d_{min} < d_a$ O.K.		
		گام دوم) محاسبه V_u در فاصله d از بر تکیه‌گاه $V_u = V_{end} - W_u.d$	
	$V_u = 455\text{-}100\times0.5 = 405$ KN		
		گام سوم) محاسبه V_c $V_c = 0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_w d$	
	$V_c = 0.2\times0.6\times\sqrt{30}\times0.35\times0.5\times10^3$ $V_c = 115$ KN		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام چهارم) محاسبه V_s	
	$V_u = 405\text{-}115 = 290$ KN	$V_s = V_u - V_c$	۲-۲-۱۲
	$V_{smax} = 4\times115 = 460$ KN $> V_c$ O.K.	$V_{smax} = 4V_c$	۳-۴-۱۲
		گام پنجم) محاسبه S_{max} در حالتیکه $V_s < 2V_c$	
	$\alpha = 45^o$ $S_{max} = d = 50$ cm		۲-۴-۶-۱۲
		تذکر: در قسمت‌هایی از تیر که مقدار V_s بین $2V_c$ و $4V_c$ قرار دارد فاصله S_{max} نصف مقدار فوق می‌باشد.	۳-۴-۶-۱۲
		گام ششم) محاسبه A_{vmin}	
	$A_{v\min} = 0.35\frac{0.35\times0.5}{400} = 1.53\times10^{-4}\,m^2$ $A_{vmin} = 1.53\ cm^2 < (2\times0.79=1.58)$ O.K.	$A_{v\min} = 0.35\frac{b_w.s}{f_y}$	۱-۳-۶-۱۲
		گام هفتم) محاسبه S	
	$S = 0.85\times(2\times0.79\times10^{-4})\times400\times\frac{0.5}{290\times10^{-3}}$ $\times(\text{Sin}\,45^o + \text{Cos}\,45^o)$ $= 0.13$ m $\rightarrow$ s=13cm $\rightarrow$ s=12cm	$S = \phi_s A_v f_y \frac{d}{V_s}(\text{Sin}\alpha + \text{Cos}\alpha)$	۲-۲-۴-۱۲
		گام هشتم) افزایش فاصله خاموت‌ها در قسمت‌هایی که برش کمتر است. فواصل بین خاموت‌های انتخابی : 18 cm , 25 cm , d=50 cm	۲-۴-۶-۱۲

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$V_s = 0.85\times(2\times0.79\times10^{-4})\times400\times\frac{0.5}{s}\times10^3 \times (\text{Sin } 45^\circ + \text{Cos } 45^\circ)$ $V_s = \frac{38}{S}$ V_s و S به ترتیب بر حسب KN و m می‌باشند. $S_1 = 0.18$ m $\rightarrow V_{s1} = 211$ KN $S_2 = 0.25$ m $\rightarrow V_{s2} = 152$ KN $S_3 = 0.5$ m $\rightarrow V_{s3} = 76$ KN $x_1 + d = (290\text{-}211)/_{100}+0.5 = 1.29$ m $x_2 + d = (290\text{-}152)/_{100}+0.5 = 1.88$ m $x_3 + d = (290\text{-}76)/_{100}+0.5 = 2.64$ m	$V_s = \phi_s A_v f_y \frac{d}{s}(\sin\alpha+\cos\alpha)$ محاسبه فاصله x+d از بر تکیه‌گاه برای S های انتخابی $x_i+d=(V_{sd}-V_{si})/W_u+d$	۲-۴-۶-۱۲ ۲-۲-۴-۱۲
	$\ell_v + d = (405-\frac{1}{2}\times115)/100+0.5$ $\ell_v + d + 3.98 = 4$ m	**گام نهم)** تعیین طولی از تیر که نیاز به آرماتور برشی دارد. $\ell_v + d = (V_{ud}-\frac{1}{2}V_c)/w_u + d$	
	 با توجه به دیاگرام فوق تعداد خاموت‌ها 10 Φ و فاصله بین آنها برابر خواهد بود با: 12@12cm , 3@18cm , 3@25 cm , 3@50cm مجموع خاموت‌ها = 2×(12+3+3+3)=42 فاصله اولین خاموت از بر تکیه‌گاه 5cm می‌باشد.	**گام دهم)** خاموت‌گذاری تیر	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		ب : با استفاده از جداول گام‌های اول تا چهارم همانند قسمت الف می‌باشد.	
	$\frac{S_{max}}{d}=1 \rightarrow S_{max}=50 \ cm$	**گام پنجم)** تعیین S_{max}	
	برای $fy = 400MPa$ و $S=50cm$ و خاموت $10\ \Phi$ داریم : $b_{Wmax} = 36 \ cm$ که بزرگتر از 35cm است. بنابراین شرط مربوط به خاموت حداقل رعایت شده است.	**گام ششم)** کنترل A_{Vmin} در این مرحله با داشتن S_{max} می‌توان با استفاده از جداول b_{Wmax} را بدست آورد و با b_w مقایسه نمود.	
	برای $fy = 400MPa$ و $d=50cm$ و خاموت $10\ \Phi$ و $V_s=290KN$ داریم : $S_1 = 9.3 \ cm$ $\alpha = 45^o \rightarrow \beta_v = 1.41$ $S = 1.41 \times 9.3 = 13.1 \ cm$ یا $S = 12 \ cm$	**گام هفتم)** محاسبه S $S=\phi_s A_v f_y \frac{d}{V_s}(Sin\alpha + Cos\alpha)$ مقدار S بدست آمده از جداول ۲ را در $\beta_v = sin\alpha+cos\alpha$ که از جدول ۳ استخراج می‌شود، ضرب می‌نمائیم تا فواصل بین خاموت‌های مایل را بدست آوریم.	۲-۲-۴-۱۲

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
برش ۲-۲	برای f_y=400 MPa و d=50cm و خاموت Φ10 داریم: $S_{1a}=\frac{18}{1.41}=12.77\rightarrow V_s\approx 214$ KN $S_{1b}=\frac{25}{1.41}=17.73\rightarrow V_s\approx 153$ KN $S_{1c}=\frac{50}{1.41}=35.46\rightarrow$ در جـــــدول موجـــــود نیست و باید به روش تحلیلی محاسبه شود.	**گام هشتم)** افزایش فاصله خاموت‌ها در قسمت‌هایی که برش کمتر است. فواصل بین خاموت‌های انتخابی : 18 cm , 25 cm , d=50 cm $S_1=\frac{S}{\beta_v}$ تذکر : گام‌های بعد همانند قسمت الف می‌باشند.	۲-۴-۶-۱۲

مثال ۶ **انتخاب شماره میلگرد خاموت‌ها و فاصله بین آنها ، در حالیکه حداقل آرماتور برشی مورد نیاز است.**

برای دیاگرام برش زیر، شماره میلگرد خاموت‌ها و فاصله بین آنها را تعین کنید.

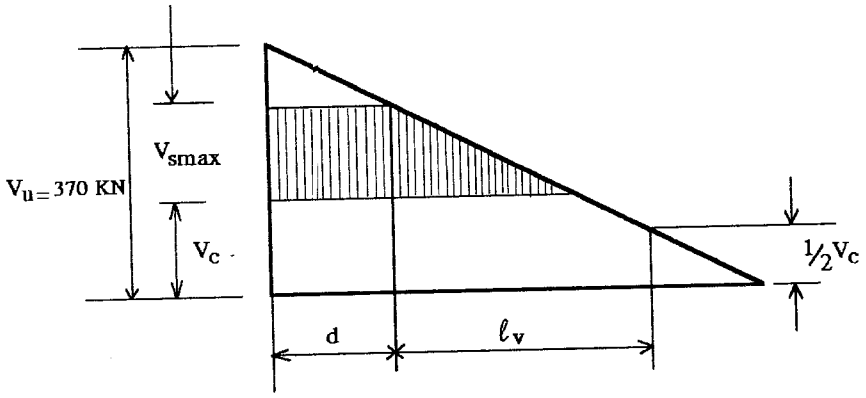
مشخصات :

$b_w = 50$ cm

$w_u = 65$ KN/m

$f_c = 30$ MPa

$f_y = 300$ MPa



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول)	
		محاسبه V_u در فاصله d از بر تکیه‌گاه.	۴-۵-۱۲
	$V_u = 370\text{-}65\times0.75 = 321.25$ KN	$V_u = V_{end} - w_u.d$	
		گام دوم)	
		محاسبه V_c	
	$V_c = 0.2\times0.6\times\sqrt{30}\times0.50\times0.75\times10^3$ $V_c = 246.5$ KN	$V_c = 0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_w d$	۱-۱-۳-۱۲
		گام سوم)	
		محاسبه V_s	
	$V_s = 321.25 - 246.5 = 74.75$ KN	$V_s = V_u - V_c$	۲-۲-۱۲
		گام چهارم)	
		کنترل $\Phi10$ $(A_v = 1.57cm^2)$ به عنوان خاموت	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$A_{V\min}=0.35\times\frac{50\times(75/2)}{300}$, (فرض $s=\frac{d}{2}$) $A_{V\min}=2.18\ cm^2>1.57$ N.G. پس باید یا شماره میلگرد خاموت را بالا برد و یا فاصله S را کم نمود. در صورت استفاده از Φ10 داریم: $S_1=\frac{A_v.f_y}{0.35b_w}=\frac{1.57\times300}{0.35\times50}=27\ cm$ $S=0.85(1.57\times10^{-4})\times300\times\frac{0.75}{74.75\times10^{-3}}$ $S=0.4\ m>S_1$ $\therefore S=S_1=27\ cm$ یا $S=25\ cm$	$A_{V\min}=0.35\frac{b_w.s}{f_y}$ $S=\phi_s.A_v.f_y\frac{d}{V_s}$	۱-۳-۶-۱۲ ۲-۲-۴-۱۲
	$A_V=2.26>A_{V\min}$ O.K., (فرض $s=\frac{d}{2}$) $S=0.85(2.26\times10^{-4})\times300\times\frac{0.75}{74.75\times10^{-3}}$ $S=0.58m>\frac{d}{2}$ $\therefore S=\frac{d}{2}=\frac{75}{2}=37.5\ cm$ یا $S=35\ cm$	**گام پنجم)** کنترل Φ 12 به عنوان خاموت ($A_v=2.26\ cm^2$) $S=\phi_s.A_v.f_y\frac{d}{V_s}$	۲-۲-۴-۱۲
	$\ell_v+d=(321.25-\frac{1}{2}\times246.5)/65+0.75$ $\ell_v+d=3.8\ m$ برای خاموت Φ10 : 16 @ 25 cm برای خاموت Φ12 : 12 @ 35 cm فاصله اولین خاموت از برتکیه‌گاه 5cm می‌باشد. بهتر است یک خاموت بین خاموت‌های اول و دوم اضافه نمود.	**گام ششم)** تعیین طولی از تیر که نیاز به آرماتور برشی دارد. $l_v+d=(V_{ud}-\frac{1}{2}V_c)/w_u+d$ تذکر: بعضی از طراحان ترجیح می‌دهند که سرتاسر تیر را خاموت‌گذاری نمایند.	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	برای f_y=300 MPa و خاموت Φ10 و d=75cm و V_s=74.75KN داریم: $S = 37.5 \text{ cm}$	**ب : با استفاده از جداول** گام‌های اول تا سوم همانند قسمت الف می‌باشند. **گام چهارم)** کنترل Φ10 به عنوان خاموت	
	برای S=37.5 m داریم: $b_{wmaz} = 36 \text{ m}$ که کمتر از b_w=50 cm است. برای b_w=50 cm داریم: $S = 27.5 \text{ cm}$ یا $S = 25 \text{ cm}$	**گام پنجم)** کنترل حداقل سطح مقطع خاموت در مواقعیکه $b_{wmax} < b_w$ است، با توجه به مقدار b_w و جدول برش ۲-۱ مقدار S تعیین می‌شود.	۱-۳-۶-۱۲
	برای $S = \frac{d}{2} = 37.5 \text{ cm}$ داریم: $b_{wmaz} = 52 \text{ cm} > 50 \text{ cm}$ O.K.	**گام ششم)** کنترل Φ12 به عنوان خاموت تذکر : گام بعد همانند قسمت الف می‌باشد.	

مثال ۷ **تعیین ضخامت لازم دال (یا شالوده) برای ایجاد مقاومت برشی محیطی مورد نیاز**

ضخامت لازم دال را برای ایجاد مقاومت برشی محیطی مورد نیاز تعیین کنید. فرض کنید. که از آرماتور برشی استفاده نمی‌شود.

مشخصات :

$f_c = 20$ MPa

$f_y = 300$ MPa

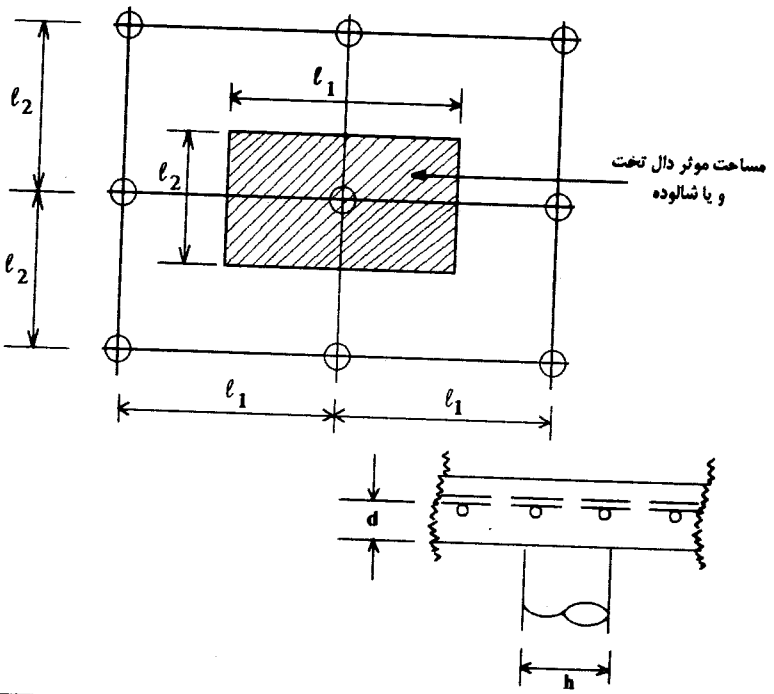
$\ell_1 = 6.5$ m

$\ell_2 = 6$ m

h = 75 cm قطر

$w_u = 40$ KN/m^2

M_u قابل صرفنظر کردن است.



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول)	
		محاسبه V_u در محیط مقطع بحرانی	۱۲-۱۷-۲-۱
	تقریباً : $V_u = 40 \times 6.5 \times 6 = 1560$ KN	$V_u = w_u.\ell_1.\ell_2 - w_u\left[\frac{\pi(h+d)^2}{4}\right]$	
		در این مرحله از عبارت دوم صرفنظر می‌شود.	
		گام دوم)	
		تخمین d	۱۲-۱۷-۲-۳
	$V_{cp} = 2 \times 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} = 1.07$ MPa	$V_{cp} = 2V_c$	۱۲-۱۷-۲-۴
	$1.07 = \frac{1560 \times 10^{-3}}{\pi(0.75+d)d}$	$V_{cp} = \frac{V_u}{\pi(h+d)d}$	
	d = 0.4 m		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام سوم)	
	$V_u = 1560 - 40 \times \frac{(0.75 + 0.4)^2}{2}$	کنترل مجدد d ، با استفاده از مقدار دقیق V_u	
	$V_u = 1518$ KN		
	$V_{cp} = \frac{1518 \times 10^{-3}}{\pi(0.75 + 0.4) \times 0.4}$		
	$V_{cp} = 1.05$ MPa < 1.07 O.K.		

مثال ۸ طراحی آرماتورهای برش اصطکاکی برای اتصال بین مصالح مختلف

سطح مقطع آرماتورهای لازم، برای اتصال یک قطعه بتنی پیش‌ساخته، به یک عضو فلزی را تعیین کنید.

مشخصات :

$f_c = 30$ MPa

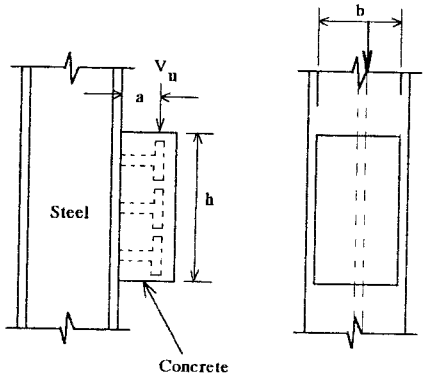
$f_y = 300$ MPa

$b = 20$ cm

$h = 40$ cm

$V_u = 290$ KN

$a = 10$ cm



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول)	
	فرض : $d = 35$ cm	تعیین نسبت $\frac{a}{d}$ برای کنترل ضوابط خاص دستک‌ها و شانه‌ها	۱-۱۵-۱۲
	$\frac{a}{d} = \frac{10}{35} = 0.29 < 1$ O.K.		
	برای بتنی که بوسیله گل میخ یا میلگرد به یک عضو فلزی متصل شده باشد:	**گام دوم)**	
	$\mu = 0.6$	تعیین ضریب اصطکاک μ	۵-۲-۱۳-۱۲
		گام سوم) محاسبه $\frac{V_u}{A_{cv}}$ و کنترل حداکثر مقاومت برشی مقطع	
	$A_{cv} = 0.2 \times 0.4 = 0.08\ m^2$	$A_{cv} = b.h$	۱-۲-۱۳-۱۲
	$\frac{V_u}{A_{cv}} = \frac{290 \times 10^{-3}}{0.08} = 3.625$ MPa	$(\frac{V_u}{A_{cv}})_{max} = \min(6.5\phi_c, 0.25\phi_c f_c, f_c)$	
	$6.5\phi_c = 6.5 \times 0.6 = 3.9$ $0.25\phi_c f_c = 0.25 \times 0.6 \times 30 = 4.5$ $\therefore (\frac{V_u}{A_{cv}})_{max} = 3.9$ MPa > 3.625 O.K.		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$\rho_{uf} = \frac{3.625}{0.6 \times 0.85 \times 300} = 0.024 = 2.4\%$	**گام چهارم)** محاسبه درصد آرماتور برش اصطکاکی مورد نیاز $\rho_{uf} = \frac{(\frac{V_u}{A_{cv}})}{\mu.\phi_s.f_y}$	۱۲-۱۳-۲-۳
	$A_{uf} = 0.0024 \times 20 \times 40 = 19.2\ cm^2$	**گام پنجم)** محاسبه A_{uf} $A_{uf} = \rho_{uf}\ .\ b.\ h$ تعدادی میلگرد یا گل میخ با حداقل سطح مقطع کل $19.2cm^2$ مورد نیاز است و باید بطور یکنواخت در سطح تماس پخش شود. باید مهاربندی کافی برای هر میلگرد یا گل میخ وجود داشته باشد تا بتواند به تنش تسلیم f_y =300 MPa برسد.	
	برای μ=0.6 و f_y = 300 MPa و f_c=30MPa و داریم: $\frac{V_u}{A_{cv}} = 3.625MPa$ $100\ \rho_{uf} = 2.4\ \%$	**ب: با استفاده از جداول** گام های اول تا سوم همانند قسمت الف می‌باشند **گام چهارم)** محاسبه درصد آرماتور برش اصطکاکی مورد نیاز تذکر: گام پنجم همانند قسمت الف می‌باشد.	

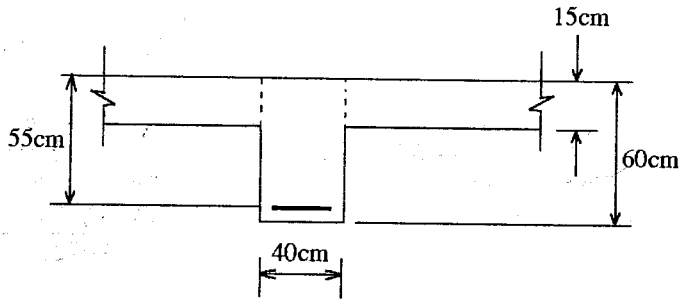
مثال ۹ طراحی تیر T شکل برای پیچش و برش ناشی از خمش

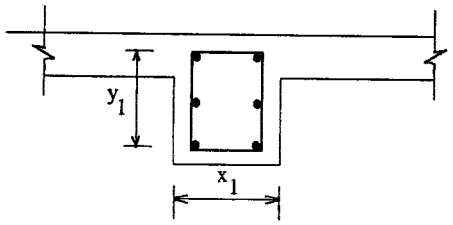
یک تیر T شکل بصورت غیرمتقارن بارگذاری شده است، حداکثر لنگر پیچشی حاصله در حد نهایی برابر 40KN.m مـی‌باشـد، بـرش نهـایی ایجاد شده در مقطعی که حداکثر پیچش در آن اتفاق می‌افتد برابر 200KN است و سطح مقطع آرماتور خمشـی لازم بـرای لنگـر مثبـت، در مقطع فوق برابر $17cm^2$ می‌باشد. تیر را برای پیچش مورد بررسی قرار داده و آرماتورهای لازم را محاسبه کنید.

مشخصات :

$f_c = 25$ MPa

$f_y = 400$ MPa



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی **گام اول)** محاسبه Tcr $T_{cr} = 2(\frac{A_c^{\,2}}{P_c})V_c$	۱-۷-۱۲ ۱-۱-۳-۱۲
	$T_{cr} = 2\times(\frac{0.4^2\times0.6^2}{2(0.4+0.6)})\times0.2\times0.6\sqrt{25}\times10^3$ $T_{cr} = 34.56$ KN.m		
		گام دوم) مقایسه T_u و $0.25\ T_{cr}$ اگر $T_u < 0.25\ T_{cr}$ باشد می‌توان از پـیچش صرفنظر کرد.	۱-۷-۱۲
	$0.25T_{cr} = 0.25 \times 34.56 = 8.64$ KN.m $< T_u$ پس محاسبات پیچش الزامی است.		
		**گام سوم)** کنترل ابعاد مقطـع تحـت اثـر تـوام بـرش و پیچش	۲-۱۲-۱۲

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$x_1 = 40 - 2\,(4.5 + 0.5) = 30$ cm $x_1 = 40 - 2\,(4.5 + 0.5) = 30$ cm $P_h = 2\,(0.5 + 0.3) = 1.6$ m $A_{oh} = 0.3 \times 0.5 = 0.15\ m^2$ $A_{oh} = 0.15 \times 0.15 = 0.0225$ $\frac{V_u}{b_w d} + \frac{T_u . P_h}{A_{oh}} = \frac{200 \times 10^{-3}}{0.4 \times 0.55} + \frac{40 \times 10^{-3} \times 1.6}{0.0225} = 0.91 + 2.84 = 3.75 MPa$ $0.25\ \phi_c . f_c = 0.25 \times 0.6 \times 25 = 3.75$ O.K.	$x_1 = b_w - 2$ (شعاع خاموت+ پوشش) $y_1 = h - 2$ (شعاع خاموت+ پوشش) $P_h = 2\,(x_1 + y_1)$ $A_{oh} = x_1 . y_1$ $\frac{V_u}{b_w d} + \frac{T_u . P_h}{A_{oh}} \le 0.25\ \phi_c . f_c$	۲-۱۲-۱۲
	گام چهارم) محاسبه $\frac{A_t}{S}$ $A_o = 0.85 \times 0.15 = 0.1275\ m^2$ $\frac{A_t}{S} = \frac{40 \times 10^{-3}}{2 \times 0.85 \times 0.1275 \times 400}$ $\frac{A_t}{S} = 4.61 \times 10^{-4}\ \frac{m^2}{m}$ $\frac{A_t}{S} = 0.0461\ \frac{cm^2}{cm}$	**گام چهارم)** محاسبه $\frac{A_t}{S}$ $A_o = 0.85\ A_{oh}$ $\frac{A_t}{S} = \frac{T_u}{2\phi_s . A_o . f_y}$	۲-۸-۱۲ ۲-۸-۱۲ ۲-۷-۱۲
	گام پنجم) محاسبه $\frac{A_v}{S}$ $V_c = 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{25} \times 0.40 \times 0.55 \times 10^3$ $V_c = 132$ KN $V_s = 200 - 132 = 68$ KN $\frac{A_V}{S} = \frac{68 \times 10^{-3}}{0.85 \times 400 \times 0.55} = 3.64 \times 10^{-4}\ \frac{m^2}{m}$ $\frac{A_V}{S} = 0.0364\ \frac{cm^2}{cm}$	**گام پنجم)** محاسبه $\frac{A_v}{S}$ $V_c = 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_w d$ $V_s = V_u - V_c$ $\frac{A_v}{S} = \frac{V_s}{\phi_s . f_y . d}$	۱-۱-۳-۱۲ ۲-۲-۱۲ ۱-۲-۴-۱۲

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام ششم) محاسبه A_v و A_t با توجه به اینکه A_t سطح مقطع یک شاخه خاموت و A_v سطح مقطع هر دو شاخه می‌باشد.	۱-۱۲-۱۲
	$\frac{A_V}{S}+2\frac{A_t}{S}=0.0364+2\times0.0461$ $\frac{A_V}{S}+2\frac{A_t}{S}=0.1286\frac{cm^2}{cm}$		
		گام هفتم) کنترل حداقل سطح مقطع آرماتور برشی و پیچشی $\min(\frac{A_V}{S}+2\frac{A_t}{S})=0.35\times\frac{b_w}{f_y}$	۴-۳-۶-۱۲
	$\min(\frac{A_V}{S}+2\frac{A_t}{S})=0.35\times\frac{0.4}{400}\times100$ $0.035\frac{cm^2}{cm}<0.2564$ O.K.		
		گام هشتم) انتخاب شماره میلگرد خاموت‌ها و فاصله بین آنها $\frac{A_V}{S}+2\frac{A_t}{S}=0.1286\frac{cm^2}{cm}$ کنترل Φ12 $A_v+2A_t=2.26\ cm^2$ کنترل Φ14 $A_v+2A_t=3.08\ cm^2$ کنترل حداکثر فاصله $S_{max}=\frac{P_h}{8}\le30\ cm$	
	برای Φ12 $S=\frac{2.26}{0.1286}=17.5\ cm$ برای Φ14 $S=\frac{3.08}{0.1286}=23.95\ cm$ $S_{max}=\frac{160}{8}=20\ cm$ بنابراین از خاموت‌های بسته Φ12 به فواصل 15cm استفاده می‌شود.		
		گام نهم) محاسبه آرماتورهای طولی برای پیچش، با استفاده از x_1 و y_1 اصلاح شده. $P_h=2(x_1+y_1)$ $A_{oh}=x_1\cdot y_1$	۳-۸-۱۲
	$x_1=40-2(4.5+0.6)=29.8\ cm$ $x_1=40-2(4.5+0.6)=49.8\ cm$ $P_h=2(29.8+49.8)=159.2\ m$ $A_t=0.0461\times159.2=734\ cm^2$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام دهم)	
	سطح مقطع لازم برای هر یک از آرماتورهای طولی فوقانی و تحتانی و گونه برابر است با :	انتخاب میلگردهای طولی	
	$\frac{A_t}{3}=\frac{7.34}{3}=2.45 \quad cm^2$	این میلگردها باید بصورت یکنواخت در اطراف مقطع پخش شوند و فاصله بین آنها کمتر از 30cm باشد.	۱۲-۱۰-۷
	آرماتورهای فوقانی :	بنابراین استفاده از میلگردهای طولی در گونه‌های تیر الزامیست.	
	USE $2\Phi 14$, $(A_s=3.08cm^2)$	آرماتورهای طولی پیچشی باید با آرماتورهای خمشی جمع شوند.	
	آرماتورهای گونه :		
	USE $2\Phi 14$, $(A_s=3.08cm^2)$		
	در هر یک از گونه‌های $1\Phi 14$ قرار داده می‌شود.		
	آرماتورهای تحتانی :	در هنگام انتخاب میلگردهای طولی باید به ضابطه زیر توجه کرد:	۱۲-۱۰-۳
	$A_s=2.45+17=19.45 \quad cm^2$		
	USE $5\Phi 14$, $(A_s=22.62 \quad cm^2)$		
	$\frac{S}{16}=\frac{12}{16}=0.75cm <$ قطر میلگردهای انتخابی O.K.	$\frac{S}{16} \geq$ قطر میلگرد طولی گوشه	

مثال ۱۰ استفاده از دو حلقه خاموت در طراحی تیر T شکل برای پیچش و برش ناشی از خمش

تیر زیر را برای برش و پیچش طراحی نمائید.

مشخصات :

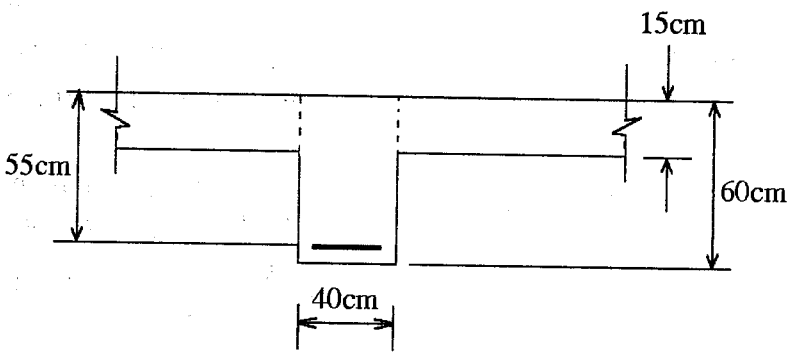
$T_u = 15$ KN.m

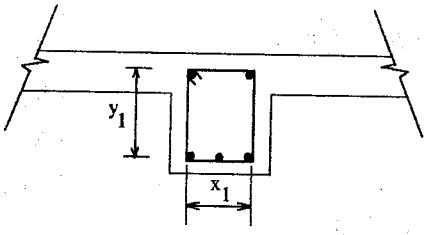
$V_u = 300$ KN

$A_s = 17$ cm^2

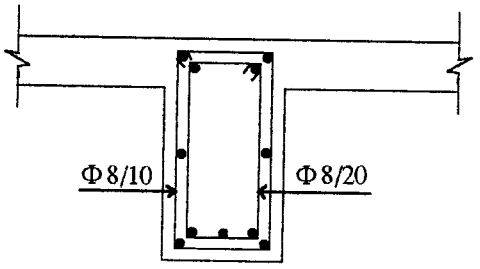
$f_c = 25$ MPa

$f_y = 400$ MPa



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول)	
		محاسبه T_{cr}	
	$T_{cr} = 2\times(\frac{0.4^2\times0.6^2}{2(0.4+0.6)})\times0.2\times0.6\times\sqrt{25}\times10^3$	$T_{cr} = 2(\frac{A_c^{\,2}}{P_c})V_c$	۱-۷-۱۲
	$T_{cr} = 34.56$ KN.m		۱-۱-۳-۱۲
		گام دوم)	۱-۷-۱۲
		مقایسه T_u و $0.25\ T_{cr}$	
	$0.25T_{cr} = 0.25\times34.56 = 8.64$ KN.m $< T_u$ پس محاسبات پیچش الزامی است.		
		گام سوم)	۲-۱۲-۱۲
		کنترل ابعاد مقطع تحت اثر توام برش و پیچش	

بند آیین‌نامه	روش	محاسبات	جداول کمکی
	$x_1 = b_w - 2$ (شعاع خاموت+ پوشش) $y_1 = h - 2$ (شعاع خاموت+ پوشش)	$x_1 = 40 - 2\,(4.5 + 0.5) = 30$ cm $x_1 = 60 - 2\,(4.5 + 0.5) = 50$ cm	
	$P_h = 2\,(x_1 + y_1)$ $A_{oh} = x_1 \cdot y_1$	$P_h = 2\,(0.5 + 0.3) = 1.6$ m $A_{oh} = 0.3 \times 0.5 = 0.15$ m^2 $A_{oh} = 0.15 \times 0.15 = 0.0225$	
۲-۱۲-۱۲	$\frac{V_u}{b_w d} + \frac{T_u . P_h}{A_{oh}} \le 0.25\ \phi_c . f_c$	$\frac{V_u}{b_w d} + \frac{T_u . P_h}{A_{oh}} = \frac{300 \times 10^{-3}}{0.4 \times 0.55} + \frac{15 \times 10^{-3} \times 1.6}{0.0225} = 1.36 + 1.07 = 2.43$ MPa $0.25\ \phi_c . f_c = 0.25 \times 0.6 \times 25 = 3.75 > 2.43$ O.K.	
	گام چهارم) محاسبه $\frac{A_t}{S}$		
۲-۸-۱۲	$A_o = 0.85\ A_{oh}$ $\frac{A_t}{S} = \frac{T_u}{2\phi_s . A_o . f_y}$	$A_o = 0.85 \times 0.15 = 0.1275$ m^2 $\frac{A_t}{S} = \frac{15 \times 10^{-3}}{2 \times 0.85 \times 0.1275 \times 400}$ $\frac{A_t}{S} = 1.73 \times 10^{-4}\ \frac{m^2}{m}$ $\frac{A_t}{S} = 0.0173\ \frac{cm^2}{cm}$	
	گام پنجم) محاسبه $\frac{A_v}{S}$		
۱-۱-۳-۱۲	$V_c = 0.2 \phi_c \sqrt{f_c}\, b_w d$	$V_c = 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{25} \times 0.40 \times 0.55 \times 10^3$ $V_c = 132$ KN	
۲-۲-۱۲	$V_s = V_u - V_c$	$V_s = 300 - 132 = 168$ KN	
۱-۲-۴-۱۲	$\frac{A_v}{S} = \frac{V_s}{\phi_s . f_y . d}$	$\frac{A_v}{S} = \frac{168 \times 10^{-3}}{0.85 \times 400 \times 0.55} = 9 \times 10^{-4}\ \frac{m^2}{m}$ $\frac{A_v}{S} = 0.09\ \frac{cm^2}{cm}$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام ششم)	
		طرح برای برش و پیچش با فرض استفاده از دو حلقه خاموت	۱-۱۲-۱۲
		جمع سطح مقطع لازم بـرای یـک شـاخه در برش و پیچش برابر است با: $\frac{A_v}{4S}+\frac{A_t}{S}$	
	$\frac{A_v}{4S}+\frac{A_t}{S}=\frac{0.09}{4}+0.0173=0.0398$	تذکر: با توجه به اینکـه میـزان خـاموت لازم برای برش قابـل ملاحظـه اسـت، از ۲ حلقـه خاموت استفاده می‌کنیم.	
	بافرض S=10cm داریم:		
	$\frac{A_v}{4}+A_t=0.0398\times10=0.398\ \ cm^2$		
	بنابراین خاموت لازم Φ8 $(A_s=0.5\,cm^2)$ با شکل زیر است:		
	خاموت‌های پیچشی:		
	$(\frac{A_t}{S}=0.0173, A_t=0.5cm^2)\rightarrow S=29cm$		
	یا $S=20\ cm$		
	خاموت‌های برشی:		
	$(\frac{A_v}{S}=0.09, A_v=4\times0.5=2cm^2)$		
	$\rightarrow S=22.2cm$		
	یا $S=20\ cm$		
			
	$S_{max}=\frac{160}{8}=20\,cm>10\,cm$ O.K.		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام هفتم)	
	در فاصله S=0.2m مقدار $0.35\frac{b_w.S}{f_y}$ برابر است با:	کنترل حداقل سطح مقطع آرماتور برشی و پیچشی	۱۲-۶-۳-۱
	$0.35\times\frac{0.4\times0.2}{400}=7\times10^{-5}m^2=0.7cm^2$	$\min(A_v+2A_t)=0.35\frac{b_w.S}{f_y}$	
	در حالیکه در این فاصله ۴ شاخه خاموت بسته دور و دو شاخه حلقه داخلی وجود دارد:		
	$6\times0.5=3\ cm^2>0.7$ O.K.		
		گام هشتم)	
		محاسبه آرماتورهای طولی برای پیچش، با استفاده از x_1 و y_1 اصلاح شده.	
	$x_1=40-2(4.5+0.4)=30.2$ cm		
	$x_1=60-2(4.5+0.4)=50.2$ cm		
	$P_h=2(30.2+50.2)=160.8$ cm	$P_h=2(x_1+y_1)$	۱۲-۸-۳
	$A_\ell=0.0173\times160=2.77\ cm^2$	$A_\ell=\frac{A_t}{S}.P_h$	
		گام نهم)	
		انتخاب میلگردهای طولی	
	$\frac{A_\ell}{3}=\frac{2.77}{3}=0.92\ cm^2$		۱۲-۱۰-۳
	آرماتورهای فوقانی :		
	USE $4\Phi8$, $(A_s=2.01cm^2)$		
	به خاطر وجود ۲ حلقه خاموت و ضابطه زیر:		
	قطر میلگرد طولی گوشه $\geq\frac{S}{16}=\frac{10}{16}=0.625cm$		
	از $4\Phi8$ استفاده شده است.		
	آرماتورهای گونه :		
	USE $2\Phi8$, $(A_s=1.01cm^2)$		
	در هر یک از گونه‌های $1\Phi8$ قرار داده می‌شود.		
	آرماتورهای تحتانی :		
	$A_s=0.92+17=17.92\ cm^2$		
	USE $4\Phi24$, $(A_s=18.1\ cm^2)$		

مثال ۱۱ طراحی دستک در حالتیکه نیروی کششی افقی برابر صفر است. (N_u=0) برای جلوگیری از ایجاد نیـروی کششـی افقی تمهیدات خاصی در نظر گرفته شده است.

ظرفیت باربری دستک ساخته شده از بتن یکپارچه شکل زیر را کنترل کنید. در صورت کافی نبودن اندازه d پیشنهادی، مقدار جدیدی را بـرای آن در نظر گرفته، و سطح مقطع آرماتورهای مورد نیاز A_s و A_h را محاسبه کنید. برای اطمینان از صفر بودن نیروی کششـی N_u از تمهیـدات خاصی استفاده شده است.

مشخصات :

a = 10 cm

h = 30 cm

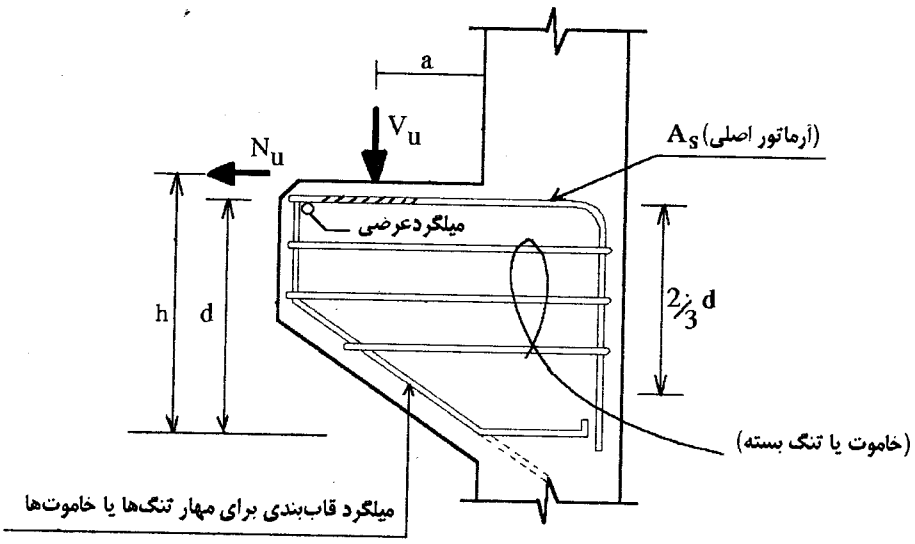
d = 25 cm

b = 30 cm

V_u = 360 KN

f_c = 35 MPa

f_y = 400 MPa



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول)	
	$\frac{a}{d} = \frac{10}{25} = 0.4 < 1$ O.K.	کنترل $\frac{a}{d}$	۱-۱۵-۱۲
		گام دوم)	
		محاسبه حداکثر تنش اسمی	۴-۲-۱۵-۱۲
	$0.25\ \phi_c f_c = 0.25 \times 0.6 \times 35 = 5.25$ MPa	$V_{max} = \min (0.25\ \phi_c f_c , 6.5\ \phi_c)$	
	$6.5\ \phi_c = 6.5 \times 0.6 = 3.9$ MPa		
	$\therefore V_{max} = 3.9$ MPa		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام سوم) محاسبه سطح مقطع بتنی لازم A_c برای انتقال برش و تعیین مقدار d مورد نیاز $A_{Creq.} = \frac{V_u}{V_{max}}$ $d_{req.} \frac{A_{Creq.}}{b}$	
	$A_{Creq.} = \frac{360\times10^{-3}}{3.9} = 0.0923 \quad m^2$ $A_{Creq.} = 923 \quad cm^2$ $d_{req.} = \frac{923}{30} = 30.77 \text{ cm} > 25$ $\therefore d = 35 \quad cm$		
		گام چهارم) محاسبه h $h = d + \text{پوشش} + \frac{1}{2}d_b$	۹-۲-۸
	$h = 35+3.5+1 = 39.5 \approx 40 \text{ cm}$ بنابراین مقدار h را بجای 30cm برابر 40 cm در نظر می‌گیریم.		
		گام پنجم) محاسبه مقدار آرماتور برش اصطکاکی لازم $A_{uf} = \frac{V_u}{\phi_s f_y . \mu}$	۴-۲-۱۳-۱۲ ۵-۲-۱۳-۱۲
	برای بتن یکپارچه : $\mu = 1.25$ $A_{uf} = \frac{360\times10^{-3}}{0.85\times400\times1.25} = 8.47\times10^{-4} \, m^2$ $A_{uf} = 8.47 \quad cm^2$		
		گام ششم) محاسبه فولاد خمشی $M_u = V_u . a$ $R = \frac{M_u}{bd^2}$ $\rho = \frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R}{0.85\phi_c f_c}}\right]$ $A_f = \rho.b.d$	۵-۲-۱۵-۱۲
	$M_u = 360 \times 0.1 = 36 \text{ KN.m}$ $R = \frac{36\times10^{-3}}{0.3\times0.35^2} = 0.98 MPa$ $\rho = \frac{0.85\times0.6\times35}{0.85\times400} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\times0.98}{0.85\times0.6\times35}}\right]$ $\rho = 0.003$ $A_f = 0.003\times30\times35 = 3.15 \quad cm^2$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام هفتم) محاسبه آرماتور کششی اصلی A_s	
	$\rho_{min} = 0.04\frac{35}{400} = 0.0035$	$\rho_{min} = 0.04\frac{f_c}{f_y}$	۱۲-۱۵-۳-۳
	$A_{min} = 0.0035\times30\times35 = 3.675cm^2$	$A_{Smin} = \rho_{min}.b.d$	۱۲-۱۵-۳-۱
	$\max\ (A_f\ \frac{2}{3}A_{uf}) = \max\ (3.15, \frac{2}{3}\times8.47) = 5.65$ $\therefore A_s = 5.65\ cm^2$	$A_s \geq \max\ (A_f\ \frac{2}{3}A_{uf})$	
	$A_h \geq 2.825cm^2$	$A_h \geq \frac{1}{2}A_s$	۱۲-۱۵-۳-۲
	برای A_s و $4\Phi14$ $(A_s=6.16cm^2)$ استفاده می‌شود. برای A_h که باید بطور یکنواخت در ارتفاعی برابر با $\frac{2}{3}d$ از بالای دستک پخش شود. از دو حلقه خاموت بسته $\phi10$ $(A_h=3.14\ cm^2)$ استفاده می‌شود. این دو حلقه در فواصل ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری از مرکز آرماتورهای کششی اصلی قرار می‌گیرند.	**گام هشتم)** انتخاب میلگردها	۱۲-۱۵-۳-۲
		تذکر: باید یک میلگرد عرضی با قطری حداقل برابر با قطر میلگردهای کششی اصلی، در وجه جلوی دستک، به آرماتورهای کششی اصلی جوش شود. انتهاهای داخلی آرماتورهای کششی اصلی باید به اندازه کافی داخل ستون شوند.	۱۲-۱۵-۳-۴
	برای $\mu = 1.25$ و $fy = 400\ MPa$ و داریم : $\frac{V_u}{A_{cv}} = \frac{360\times10^{-3}}{0.3\times0.35} = 3.43MPa$ $100\ \rho_{uf} = 0.8$ $\therefore A_{uf} = 0.8\times10_{-2}\times30\times35=8.4\ cm^2$	**ب : با استفاده از جداول** گام‌های اول تا چهارم همانند قسمت الف می‌باشند. **گام پنجم)** محاسبه A_{uf} تذکر: بقیه گام‌ها همانند قسمت الف می‌باشند.	

مثال ۱۲ **طراحی دستک در حالتیکه نیروی کششی افقی N_u وجود داشته باشد.**

دستک شکل زیر را برای بارهای وارده طراحی کنید. بتن دستک و دیوار بصورت یکپارچه ریخته می‌شود.

مشخصات :

$V_u = 320$ KN

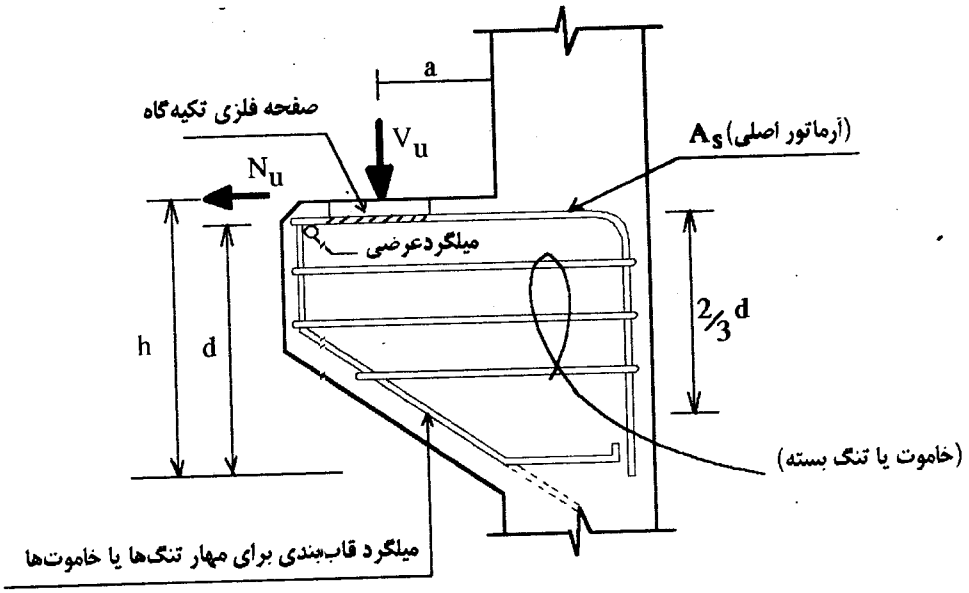
$N_u = 200$ KN

$a = 10$ cm

$b = 30$ cm

$f_c = 35$ MPa

$f_y = 400$ MPa



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول)	
		کنترل نیروی کششی روی دستک	۱-۱۵-۱۲
	$\frac{N_u}{V_u} = \frac{200}{320} = 0.625$ O.K.	$0.2 \le \frac{N_u}{V_u} \le 1$	۲-۲-۱۵-۱۲
		گام دوم)	
		محاسبه d با توجه به حداکثر تنش اسمی	
	$0.25\ \phi_c f_c = 0.25 \times 0.6 \times 35 = 5.25$ MPa $6.5\ \phi_c = 6.5 \times 0.6 = 3.9$ MPa $\therefore V_{max} = 3.9$ MPa	$V_{max} = \min(0.25\ \phi_c f_c , 6.5\ \phi_c)$	۴-۲-۱۶-۱۲

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$d_{min} = \frac{320\times10^{-3}}{0.3\times3.9} = 0.27\ m \rightarrow d = 30cm$ $h = 30 + 3.5 + 1 = 34.5 \approx 35cm$ $\frac{a}{d} = \frac{10}{30} = 0.33 < 1$ O.K.	$d_{min} = \frac{V_u}{b.V_{max}}$ $h = d + \text{پوشش} + \frac{1}{2}d_b$ $\frac{a}{d} \le 1$	۹-۲-۸ ۱-۱۵-۱۲
	$M_u = 320\times0.1+200\times(0.35-0.3)$ $M_u = 42$ KN.m	**گام سوم)** محاسبه M_u $M_u = V_u . a + N_u (h-d)$	۳-۲-۱۵-۱۲
	برای بتن یکپارچه : $\mu = 1.25$ $A_{uf} = \frac{320\times10^{-3}}{0.85\times400\times1.25} = 7.53\times10^{-4}\ m^2$ $A_{uf} = 7.53\ cm^2$	**گام چهارم)** محاسبه مقدار آرماتور برش اصطکاکی لازم $A_{uf} = \frac{V_u}{\phi_s f_y . \mu}$	۴-۲-۱۳-۱۲ ۵-۲-۱۳-۱۲
	$A_n = \frac{200\times10^{-3}}{0.85\times400} = 5.88\times10^{-4}\ m^2$ $A_n = 5.88\ cm^2$	**گام پنجم)** محاسبه A_n $A_n = \frac{N_u}{\phi_s f_y}$	۶-۲-۱۵-۱۲
	$R = \frac{42\times10^{-3}}{0.3\times0.3^2} = 1.56MPa$ $\rho = \frac{0.85\times0.6\times35}{0.85\times400}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times1.56}{0.85\times0.6\times35}}\right]$ $\rho = 0.0048$ $A_f = 0.0048\times30\times30 = 4.32\ cm^2$	**گام ششم)** محاسبه فولاد خمشی $R = \frac{M_u}{bd^2}$ $\rho = \frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2R}{0.85\phi_c f_c}}\right]$ $A_f = \rho.b.d$	۵-۲-۱۵-۱۲

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام هفتم)	
		محاسبه آرماتور کششی اصلی A_s	
	$\rho_{min} = 0.04 \frac{35}{400} = 0.0035$	$\rho_{min} = 0.04 \frac{f_c}{f_y}$	۳-۳-۱۵-۱۲
	$A_{min} = 0.0035 \times 30 \times 30 = 3.15 cm^2$	$A_{min} = \rho_{min}.b.d$	
	$A_{s1} = \frac{2}{3} A_{uf} + A_n = \frac{2}{3} \times 7.53 + 5.88$ $A_{s1} = 10.9 cm^2$ $A_{s2} = A_f + A_n = 4.32 + 5.88 = 10.2\ cm^2$ $\therefore A_s = \max (A_{s1}, A_{s2}) = 10.9\ cm^2$	$A_s \geq \max (\frac{2}{3} A_{uf} + A_n, A_f + A_n)$	۱-۳-۱۵-۱۲
		گام هشتم)	
	برای A_s و $4\Phi14$ ($A_s=12.57 cm^2$) استفاده می‌شود. این آرماتورها باید به صفحه فلزی تکیه‌گاه و میلگرد عرضی جوش شوند.	انتخاب میلگردها	۴-۳-۱۵-۱۲
	$A_h \geq \frac{1}{2}(10.9 - 5.88) = 2.51\ cm^2$ برای A_h از دو حلقه خاموت بسته ($A_h=3.14\ cm^2$)$\phi10$ استفاده می‌شود. این دو حلقه در فواصل ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری از مرکز آرماتورهای کششی اصلی قرار می‌گیرند.	$A_h \geq \frac{1}{2}(A_s - A_n)$	۲-۳-۱۵-۱۲
		ب : با استفاده از جداول	
	برای $\mu = 1.25$ و $fy = 400\ MPa$ و داریم : $\frac{V_u}{A_{cv}} = \frac{320 \times 10^{-3}}{0.3 \times 0.3} = 3.56 MPa$ $100\ \rho_{uf} = 0.83$ $\therefore A_{uf} = 0.0083 \times 30 \times 30 = 7.5\ cm^2$	گام‌های اول تا سوم همانند قسمت الف می‌باشند. **گام چهارم)** محاسبه A_{uf} تذکر: بقیه گام‌ها همانند قسمت الف می‌باشند.	

مثال ۱۳ **طراحی دستک در حالتیکه نیروی کششی افقی برابر صفر است. (N_u=0) ولی هیچگونه تمهیداتی برای جلوگیری از ایجاد آن در نظر گرفته نشده است.**

دستک ساخته شده از بتن یکپارچه نشان داده شده در شکل زیر را برای بار V_u که در فاصله a از بر ستون وارد می‌شود، طراحی کنید. هیچگونه تمهیداتی برای جلوگیری از ایجاد N_u در نظر گرفته نشده است.

: مشخصات

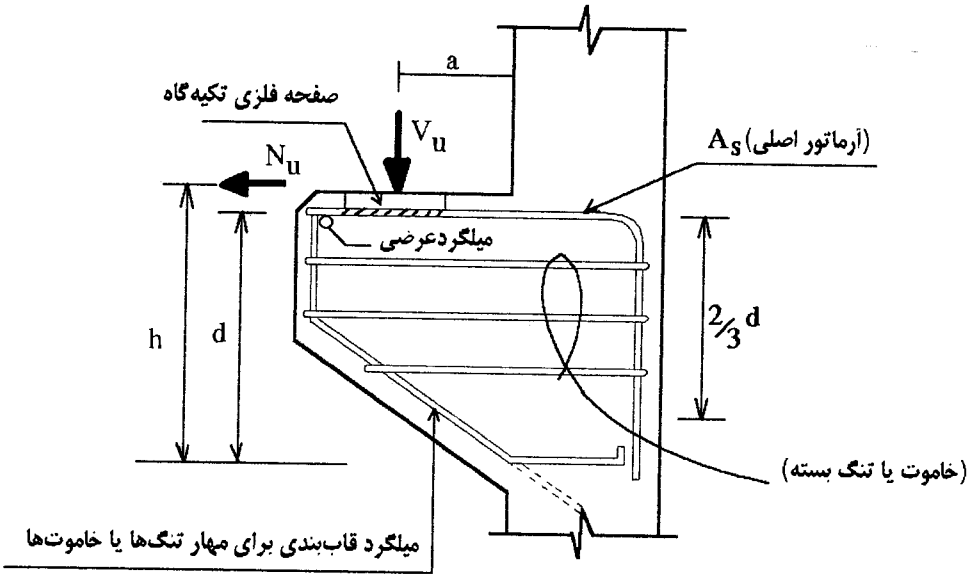
V_u = 120 KN

a = 15 cm

b = 40 cm

f_c = 20 MPa

f_y = 400 MPa



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول)	
		محاسبه d با توجه به حداکثر تنش اسمی	۴-۲-۱۵-۱۲
	$0.25\ \phi_c f_c = 0.25 \times 0.6 \times 20 = 3$ MPa $6.5\ \phi_c = 6.5 \times 0.6 = 3.9$ MPa $\therefore V_{max} = 3$ MPa	$V_{max} = \min(0.25\ \phi_c f_c , 6.5\ \phi_c)$	
	$d_{min} = \frac{120\times10^{-3}}{0.4\times3} = 0.1m = 10cm$	$d_{min} = \frac{V_u}{b.V_{max}}$	
	$\frac{15}{10} = 1.5 > 1$ N.G بنابراین مقدار d را نمی‌توان کمتر از ۱۵ سانتیمتر گرفت.	$\frac{a}{d} \le 1$	۱-۱۵-۱۲
	پس $d = 15$ cm		۹-۲-۸
	$h = 15 + 3.5 + 1 = 19.5 \approx 20cm$	$h = d +$ پوشش $+ \frac{1}{2} d_b$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$N_u = 0.2 \times 120 = 24\ KN$	**گام دوم)** محاسبه N_u چون مقدار Nu مشخص نیست از فرمول زیر برای محاسبه آن استفاده می‌شود. $N_u = 0.2\ V_u$	۱۲-۲-۱۵-۲
	$M_u = 120\times0.15+24\times(0.2-0.15)$ $M_u = 19.2\ KN.m$	**گام سوم)** محاسبه M_u $M_u = V_u \cdot a + N_u (h-d)$	۱۲-۲-۱۵-۳
	برای بتن یکپارچه : $\mu = 1.25$ $A_{uf} = \frac{120\times10^{-3}}{0.85\times400\times1.25} = 2.82\times10^{-4}\ m^2$ $A_{uf} = 2.82\ cm^2$	**گام چهارم)** محاسبه A_{uf} $A_{uf} = \frac{V_u}{\phi_s f_y . \mu}$	۱۲-۲-۱۳-۴ ۱۲-۲-۱۳-۵
	$A_n = \frac{24\times10^{-3}}{0.85\times400} = 7\times10^{-5}\ m^2$ $A_n = 0.7\ cm^2$	**گام پنجم)** محاسبه A_n $A_n = \frac{N_u}{\phi_s f_y}$	۱۲-۲-۱۵-۶
	$R = \frac{19.2\times10^{-3}}{0.4\times0.15^2} = 2.13MPa$ $\rho = \frac{0.85\times0.6\times20}{0.85\times400}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times2.13}{0.85\times0.6\times20}}\right]$ $\rho = 0.0071$ $A_f = 0.0071 \times 40 \times 15 = 4.26\ cm^2$	**گام ششم)** محاسبه فولاد خمشی $R = \frac{M_u}{bd^2}$ $\rho = \frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2R}{0.85\phi_c f_c}}\right]$ $A_f = \rho.b.d$	۱۲-۲-۱۵-۵

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام هفتم) محاسبه آرماتور کششی اصلی A_s	
	$\rho_{min} = 0.04\frac{20}{400} = 0.002$ $A_{min} = 0.002\times40\times15 = 1.2cm^2$ $A_{s1} = \frac{2}{3}A_{uf} + A_n = \frac{2}{3}\times2.82 + 0.7$ $A_{s1} = 2.58cm^2$ $A_{s2} = A_f + A_n = 4.26 + 0.7 = 4.96\ cm^2$ $\therefore A_s = \max(A_{s1}, A_{s2}) = 4.96\ cm^2$	$\rho_{min} = 0.04\frac{f_c}{f_y}$ $A_{min} = \rho_{min}.b.d$ $A_s \geq \max(\frac{2}{3}A_{uf} + A_n, A_f + A_n)$	۳-۳-۱۵-۱۲ ۱-۳-۱۵-۱۲
	برای A_s و $4\Phi14$ (A_s=6.16cm^2) استفاده می‌شود. این آرماتورها باید به صفحه فلزی تکیه‌گاه و میلگرد عرضی جوش شوند. $A_h \geq \frac{1}{2}(4.96 - 0.7) = 2.13\ cm^2$ برای A_h از دو حلقه خاموت بسته $\phi10$(A_h=3.14 cm^2) استفاده می‌شود. این دو حلقه در فواصل ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری از مرکز آرماتورهای کششی اصلی قرار می‌گیرند.	**گام هشتم)** انتخاب میلگردها $A_h \geq \frac{1}{2}(A_s - A_n)$	۴-۳-۱۵-۱۲ ۲-۳-۱۵-۱۲ ۲-۳-۱۵-۱۲
	برای $\mu = 1.25$ و $fy = 400\ MPa$ و داریم : $\frac{V_u}{A_{cv}} = \frac{120\times10^{-3}}{0.4\times0.15} = 2MPa$ $100\ \rho_{uf} = 0.47$ $\therefore A_{uf} = 0.0047\times40\times15 = 2.82\ \ cm^2$	**ب : با استفاده از جداول** گام‌های اول تا سوم همانند قسمت الف می‌باشند. **گام چهارم)** محاسبه A_{uf} تذکر: بقیه گام‌ها همانند قسمت الف می‌باشند.	

برش ۱-۱) حداکثر عرض تیر b_w ، در صورت استفاده از خاموت‌های U شکل، به فواصل $\frac{d}{2}$.

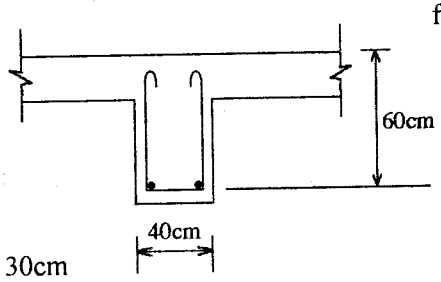
مراجع : بند ۱۲-۶-۳-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

$$b_{w\,max} = \frac{A_v . f_y}{0.35(\frac{d}{2})}$$

d_1 cm	$b_{w\,max}$, cm					
	f_y = 300 MPa			f_y = 400 MPa		
	Φ ۱۰	Φ ۱۲	Φ ۱۴	Φ ۱۰	Φ ۱۲	Φ ۱۴
۳۰	۸۹	۱۲۹	۱۷۶	۱۱۹	۱۷۲	۲۳۴
۳۵	۷۶	۱۱۰	۱۵۰	۱۰۲	۱۴۷	۲۰۱
۴۰	۶۷	۹۶	۱۳۲	۸۹	۱۲۹	۱۷۶
۴۵	۵۹	۸۶	۱۱۷	۷۹	۱۱۴	۱۵۶
۵۰	۵۳	۷۷	۱۰۵	۷۱	۱۰۳	۱۴۰
۵۵	۴۸	۷۰	۹۶	۶۵	۹۳	۱۲۸
۶۰	۴۴	۶۴	۸۸	۵۹	۸۶	۱۱۷
۶۵	۴۱	۵۹	۸۱	۵۵	۷۹	۱۰۸
۷۰	۳۸	۵۵	۷۵	۵۱	۷۳	۱۰۰
۷۵	۳۵	۵۱	۷۰	۴۷	۶۸	۹۳
۸۰	۳۳	۴۸	۶۶	۴۴	۶۴	۸۸
۸۵	۳۱	۴۵	۶۲	۴۲	۶۰	۸۲
۹۰	۲۹	۴۳	۵۸	۳۹	۵۷	۷۸
۹۵	۲۸	۴۰	۵۵	۳۷	۵۴	۷۴
۱۰۰	۲۶	۳۸	۵۲	۳۵	۵۱	۷۰
۱۰۵	۲۵	۳۶	۵۰	۳۴	۴۹	۶۷
۱۱۰	۲۴	۳۵	۴۸	۳۲	۴۶	۶۴
۱۱۵	۲۳	۳۳	۴۵	۳۱	۴۴	۶۱
۱۲۰	۲۲	۳۲	۴۴	۲۹	۴۳	۵۸

مثال :

برای تیر شکل زیر حداقل مقدار خاموت را تعیین کنید. fy = 400 MPa



حل :

برای d= 60cm و f_y=400 MPa و خاموت Φ10 داریم:

$$S_{max} = \frac{d}{2} = \frac{60}{2} = 30cm$$

$$b_{wmax} = 59\ cm > 40\ cm$$

بنابراین استفاده از خاموت‌های Φ10 به فواصل 30cm قابل قبول است.

برش ۱-۲) حداکثر فاصله مجاز بین خاموت‌ها برای تیری که پهنای آن بیشتر از اعداد پیشنهادی جدول برش ۱-۱ می‌باشد.

مراجع : بند ۱۲-۶-۳-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

$$b_{max} = \frac{A_v . f_y}{0.35 b_w}$$

S_{max} , cm					
f_y = 300 MPa			f_y = 400 MPa		
Φ ۱۰	Φ ۱۲	Φ ۱۴	Φ ۱۰	Φ ۱۲	Φ ۱۴
$\frac{۱۳۴۵}{b_w}$	$\frac{۱۹۳۷}{b_w}$	$\frac{۲۶۴۰}{b_w}$	$\frac{۱۷۹۴}{b_w}$	$\frac{۲۵۸۲}{b_w}$	$\frac{۳۵۲۰}{b_w}$

مثال :

برای تیری به پهنای b_w=65cm و ارتفاع موثر d=60cm که در آن از خاموت‌های Φ10 استفاده است، حداکثر فاصله مجاز بین خاموت‌ها را تعیین کنید. f_y = 400 MPa

حل :

با توجه به جدول برش ۱-۱، حداکثر پهنای مجاز تیر برای $S = \frac{d}{2} = 30cm$ برابر است با :

$$b_{wmax} = 59\ cm < 65\ cm$$

بنابراین با توجه به جدول برش ۱-۲ داریم :

$$S_{max} = \frac{1794}{b_w} = \frac{1794}{65} = 27.6\ \ cm$$

برش ۲-۱) تعیین مقاومت برشی Vs برای خاموت‌های U شکل . fy= 300 MPa

$$V_s = V_u - V_c = \phi_s . A_v . f_y . \frac{d}{s}$$

$$\text{maximum } b_w = \frac{A_v . f_y}{0.35S}$$

مراجع : بند ۱۲-۶-۳-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

Φ 10 V_s (KN) $f_y = 300$ MPa

d,cm \ S,cm	۵	۷/۵	۱۰	۱۲/۵	۱۵	۱۷/۵	۲۰	۲۲/۵	۲۵	۲۷/۵	۳۰	۳۲/۵	۳۵	۳۷/۵	۴۰	۴۲/۵	۴۵	۴۷/۵	۵۰
۲۵	۲۰۰	۱۳۳	۱۰۰	۸۰															
۳۰	۲۴۰	۱۶۰	۱۲۰	۹۶	۸۰														
۳۵	۲۸۰	۱۸۷	۱۴۰	۱۱۲	۹۳	۸۰													
۴۰	۳۲۰	۲۱۴	۱۶۰	۱۲۸	۱۰۷	۹۲	۸۰												
۴۵	۳۶۰	۲۴۰	۱۸۰	۱۴۴	۱۲۰	۱۰۳	۹۰	۸۰											
۵۰	۴۰۰	۲۶۷	۲۰۰	۱۶۰	۱۳۳	۱۱۴	۱۰۰	۸۹	۸۰										
۵۵	۴۴۰	۲۹۴	۲۲۰	۱۷۶	۱۴۷	۱۲۶	۱۱۰	۹۸	۸۸	۸۰									
۶۰	۴۸۰	۳۲۰	۲۴۰	۱۹۲	۱۶۰	۱۳۷	۱۲۰	۱۰۷	۹۶	۸۷	۸۰								
۶۵	۵۲۰	۳۴۷	۲۶۰	۲۰۸	۱۷۳	۱۴۹	۱۳۰	۱۱۶	۱۰۴	۹۵	۸۷	۸۰							
۷۰	۵۶۰	۳۷۴	۲۸۰	۲۲۴	۱۸۷	۱۶۰	۱۴۰	۱۲۵	۱۱۲	۱۰۲	۹۳	۸۶	۸۰						
۷۵	۶۰۱	۴۰۰	۳۰۰	۲۴۰	۲۰۰	۱۷۲	۱۵۰	۱۳۶	۱۲۰	۱۰۹	۱۰۰	۹۲	۸۶	۸۰					
۸۰	۶۴۱	۴۲۷	۳۲۰	۲۵۶	۲۱۴	۱۸۳	۱۶۰	۱۴۲	۱۲۸	۱۱۶	۱۰۷	۹۹	۹۲	۸۵	۸۰				
۸۵	۶۸۱	۴۵۴	۳۴۰	۲۷۲	۲۲۷	۱۹۴	۱۷۰	۱۵۱	۱۳۶	۱۲۴	۱۱۳	۱۰۵	۹۷	۹۱	۸۵	۸۰			
۹۰	۷۲۱	۴۸۰	۳۶۰	۲۸۸	۲۴۰	۲۰۶	۱۸۰	۱۶۰	۱۴۴	۱۳۱	۱۲۰	۱۱۱	۱۰۳	۹۶	۹۰	۸۵	۸۰		
۹۵	۷۶۱	۵۰۷	۳۸۰	۳۰۴	۲۵۴	۲۱۷	۱۹۰	۱۶۹	۱۵۲	۱۳۸	۱۲۷	۱۱۷	۱۰۹	۱۰۱	۹۵	۸۹	۸۵	۸۰	
۱۰۰	۸۰۱	۵۳۴	۴۰۰	۳۲۰	۲۶۷	۲۲۹	۲۰۰	۱۷۸	۱۶۰	۱۴۶	۱۳۳	۱۲۳	۱۱۴	۱۰۷	۱۰۰	۹۴	۸۹	۸۴	۸۰
$b_{w\,max}$ (cm)	۲۶۹	۱۷۹	۱۳۵	۱۰۸	۹۰	۷۷	۶۷	۶۰	۵۴	۴۹	۴۵	۴۱	۳۸	۳۶	۳۴	۳۲	۳۰	۲۸	۲۷

ادامه برش ۲-۱)

Φ 12 $V_s = KN$ $f_y = 300$ MPa

d,cm \ S,cm	۵	۷/۵	۱۰	۱۲/۵	۱۵	۱۷/۵	۲۰	۲۲/۵	۲۵	۲۷/۵	۳۰	۳۲/۵	۳۵	۳۷/۵	۴۰	۴۲/۵	۴۵	۴۷/۵	۵۰
۲۵	۲۸۸	۱۹۲	۱۴۴	۱۱۵															
۳۰	۳۴۶	۲۳۱	۱۷۳	۱۳۸	۱۱۵														
۳۵	۴۰۳	۲۶۹	۲۰۲	۱۶۱	۱۳۴	۱۱۵													
۴۰	۴۶۱	۳۰۷	۲۳۱	۱۸۴	۱۵۴	۱۳۲	۱۱۵												
۴۵	۵۱۹	۳۴۶	۲۵۹	۲۰۷	۱۷۳	۱۴۸	۱۳۰	۱۱۵											
۵۰	۵۷۶	۳۸۴	۲۸۸	۲۳۱	۱۹۲	۱۶۵	۱۴۴	۱۲۸	۱۱۵										
۵۵	۵۳۴	۴۲۳	۶۱۷	۲۵۴	۲۱۱	۱۸۱	۱۵۸	۱۴۱	۱۲۷	۱۱۵									
۶۰	۶۹۲	۴۶۱	۳۴۶	۲۷۷	۲۳۱	۱۹۸	۱۷۳	۱۵۴	۱۳۸	۱۲۶	۱۱۵								
۶۵	۷۴۹	۴۹۹	۳۷۵	۳۰۰	۲۵۰	۲۱۴	۱۸۷	۱۶۶	۱۵۰	۱۳۶	۱۲۵	۱۱۵							
۷۰	۸۰۷	۵۳۸	۴۰۳	۳۲۳	۲۶۹	۲۳۱	۲۰۲	۱۷۹	۱۶۱	۱۴۷	۱۳۴	۱۲۴	۱۱۵						
۷۵	۸۶۴	۵۷۶	۴۳۲	۳۴۶	۲۸۸	۲۴۷	۲۱۶	۱۹۲	۱۷۳	۱۵۷	۱۴۴	۱۳۳	۱۲۳	۱۱۵					
۸۰	۹۲۲	۶۱۵	۴۶۱	۳۶۹	۳۰۷	۲۶۳	۲۳۱	۲۰۵	۱۸۴	۱۶۸	۱۵۴	۱۴۲	۱۳۲	۱۲۳	۱۱۵				
۸۵	۹۸۰	۶۵۳	۴۹۰	۳۹۲	۳۲۷	۲۸۰	۲۴۵	۲۱۸	۱۹۶	۱۷۸	۱۶۳	۱۵۱	۱۴۰	۱۳۱	۱۲۲	۱۱۵			
۹۰	۱۰۳۷	۶۹۲	۵۱۹	۴۱۵۶	۳۶۴	۲۹۶	۲۵۹	۲۳۱	۲۰۷	۱۸۹	۱۷۳	۱۶۰	۱۴۸	۱۳۸	۱۳۰	۱۲۲	۱۱۵		
۹۵	۱۰۹۵	۷۳۰	۵۴۷	۴۳۸	۳۶۵	۳۱۳	۲۷۴	۲۴۳	۲۱۹	۱۹۹	۱۸۲	۱۶۸	۱۵۶	۱۴۶	۱۳۷	۱۲۹	۱۲۲	۱۱۵	
۱۰۰	۱۱۵۳	۷۶۸	۵۷۶	۴۶۱	۳۸۴	۳۲۹	۲۸۸	۲۵۶	۲۳۱	۲۱۰	۱۹۲	۱۷۷	۱۶۵	۱۵۴	۱۴۴	۱۳۶	۱۲۸	۱۲۱	۱۱۵
$b_{w\,max}$ (cm)	۲۸۷	۲۵۸	۱۹۴	۱۵۵	۱۲۹	۱۱۱	۹۷	۸۶	۷۷	۷۰	۶۵	۶۰	۵۵	۵۲	۴۸	۴۶	۴۳	۴۱	۳۹

Φ 14 $V_s = KN$ $f_y = 300$ MPa

d,cm \ S,cm	۵	۷/۵	۱۰	۱۲/۵	۱۵	۱۷/۵	۲۰	۲۲/۵	۲۵	۲۷/۵	۳۰	۳۲/۵	۳۵	۳۷/۵	۴۰	۴۲/۵	۴۵	۴۷/۵	۵۰
۲۵	۳۹۳	۲۶۲	۱۹۶	۱۵۷															
۳۰	۴۷۱	۳۱۴	۲۳۶	۱۸۸	۱۵۷														
۳۵	۵۵۰	۳۶۷	۲۷۵	۲۲۰	۱۸۳	۱۵۷													
۴۰	۶۲۸	۴۱۹	۳۱۴	۲۵۱	۲۰۹	۱۸۰	۱۵۷												
۴۵	۷۰۷	۴۷۱	۳۵۳	۲۸۳	۲۳۶	۲۰۲	۱۷۷	۱۵۷											
۵۰	۷۶۵	۵۲۴	۳۹۳	۳۱۴	۲۶۲	۲۲۴	۱۹۶	۱۷۵	۱۵۷										
۵۵	۸۶۴	۵۷۶	۴۳۲	۳۴۶	۲۸۸	۲۴۷	۲۱۶	۱۹۲	۱۷۳	۱۵۷									
۶۰	۹۴۲	۶۲۸	۴۷۱	۳۷۷	۳۱۴	۲۶۹	۲۳۶	۲۰۹	۱۸۸	۱۷۱	۱۵۷								
۶۵	۱۰۲۱	۶۸۱	۵۱۱	۴۰۸	۳۴۰	۲۹۲	۲۵۵	۲۲۷	۲۰۴	۱۸۶	۱۷۰	۱۵۷							
۷۰	۱۱۰۰	۷۳۳	۵۵۰	۴۴۰	۳۶۷	۳۱۴	۲۷۵	۲۴۴	۲۲۰	۲۰۰	۱۸۳	۱۶۹	۱۵۷						
۷۵	۱۱۷۸	۷۸۵	۵۸۹	۴۷۱	۳۹۳	۳۳۷	۲۹۵	۲۶۲	۲۳۶	۲۱۴	۱۹۶	۱۸۱	۱۶۸	۱۵۷					
۸۰	۱۲۵۷	۸۳۸	۶۲۸	۵۰۳	۴۱۹	۳۵۹	۳۱۴	۲۷۹	۲۵۱	۲۲۸	۲۰۹	۱۹۳	۱۸۰	۱۶۸	۱۵۷				
۸۵	۱۳۳۵	۸۹۰	۶۶۸	۵۳۴	۴۴۵	۳۸۱	۳۳۴	۲۹۷	۲۶۷	۲۴۳	۲۲۳	۲۰۵	۱۹۱	۱۷۸	۱۶۷	۱۵۷			
۹۰	۱۴۱۴	۹۴۲	۷۰۷	۵۶۵	۴۷۱	۴۰۴	۳۵۳	۳۱۴	۲۸۳	۲۵۷	۲۳۶	۲۱۷	۲۰۲	۱۸۸	۱۷۷	۱۶۶	۱۵۷		
۹۵	۱۴۹۲	۹۹۵	۷۴۶	۵۹۷	۴۹۷	۴۲۶	۳۷۳	۳۳۲	۲۹۸	۲۷۱	۲۴۹	۲۳۰	۲۱۳	۱۹۹	۱۸۷	۱۷۶	۱۶۶	۱۵۷	
۱۰۰	۱۵۷۱	۱۰۴۷	۷۸۵	۶۲۸	۵۲۴	۴۴۹	۳۹۳	۳۴۹	۳۱۴	۲۸۶	۲۶۲	۲۴۲	۲۲۴	۲۰۹	۱۹۶	۱۸۵	۱۷۵	۱۶۵	۱۵۷
$b_{w\,max}$ (cm)	۵۲۸	۳۵۲	۲۶۴	۲۱۱	۱۷۶	۱۵۱	۱۳۲	۱۱۷	۱۰۶	۹۶	۸۸	۸۱	۷۵	۷۰	۶۶	۶۲	۵۹	۵۶	۵۳

برش ۲-۲) تعیین مقاومت برشی Vs برای خاموت‌های U شکل . fy= 400 MPa

$$V_s = V_u - V_c = \phi_s . A_v . f_y . \frac{d}{s}$$

$$\text{maximum } b_w = \frac{A_v . f_y}{0.35S}$$

مراجع : بند ۱۲-۲-۲ و ۱۲-۴-۲-۱ و ۱۲-۶-۳-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

Φ 10 V_s = KN f_y = 400 MPa

d cm \ S cm	۵	۷/۵	۱۰	۱۲/۵	۱۵	۱۷/۵	۲۰	۲۲/۵	۲۵	۲۷/۵	۳۰	۳۲/۵	۳۵	۳۷/۵	۴۰	۴۲/۵	۴۵	۴۷/۵	۵۰
۲۵	۲۶۷	۱۷۸	۱۳۳	۱۰۷															
۳۰	۳۲۰	۲۱۴	۱۶۰	۱۲۸	۱۰۷														
۳۵	۳۷۴	۲۴۹	۱۶۷	۱۴۹	۱۲۵	۱۰۷													
۴۰	۴۲۷	۲۸۵	۲۱۴	۱۷۱	۱۴۲	۱۲۲	۱۰۷												
۴۵	۴۸۰	۳۲۰	۲۴۰	۱۹۲	۱۶۰	۱۳۷	۱۲۰	۱۰۷											
۵۰	۵۳۴	۳۵۶	۲۶۷	۲۱۴	۱۷۸	۱۵۳	۱۳۳	۱۱۹	۱۰۷										
۵۵	۵۸۷	۳۹۱	۲۹۴	۲۳۵	۱۹۶	۱۶۸	۱۴۷	۱۳۰	۱۱۷	۱۰۷									
۶۰	۶۴۱	۴۲۷	۳۲۰	۲۵۶	۲۱۴	۱۸۳	۱۶۰	۱۴۲	۱۲۸	۱۱۶	۱۰۷								
۶۵	۶۹۴	۴۶۳	۳۴۷	۲۷۸	۲۳۱	۱۹۸	۱۷۳	۱۵۴	۱۳۹	۱۲۶	۱۱۶	۱۰۷							
۷۰	۷۴۷	۴۹۸	۳۷۴	۲۹۹	۲۴۹	۲۱۴	۱۸۷	۱۶۶	۱۴۹	۱۳۶	۱۲۵	۱۱۵	۱۰۷						
۷۵	۸۰۱	۵۳۴	۴۰۰	۳۲۰	۲۶۷	۲۲۹	۲۰۰	۱۷۸	۱۶۰	۱۴۶	۱۳۳	۱۲۳	۱۱۴	۱۰۷					
۸۰	۸۵۴	۵۶۹	۴۲۷	۳۴۲	۲۸۵	۲۴۴	۲۱۴	۱۹۰	۱۷۱	۱۵۵	۱۴۲	۱۳۱	۱۲۲	۱۱۴	۱۰۷				
۸۵	۹۰۷	۶۰۵	۴۵۴	۳۶۳	۳۰۲	۲۵۹	۲۲۷	۲۰۲	۱۸۱	۱۶۵	۱۵۱	۱۴۰	۱۳۰	۱۲۱	۱۱۳	۱۰۷			
۹۰	۹۶۱	۶۴۱	۴۸۰	۳۸۴	۳۲۰	۲۷۵	۲۴۰	۲۱۴	۱۹۲	۱۷۵	۱۶۰	۱۴۸	۱۳۷	۱۲۸	۱۲۰	۱۱۳	۱۰۷		
۹۵	۱۰۱۴	۶۷۶	۵۰۷	۴۰۶	۳۳۸	۲۹۰	۲۵۴	۲۲۵	۲۰۳	۱۸۴	۱۶۹	۱۵۶	۱۴۵	۱۳۵	۱۲۷	۱۱۹	۱۱۳	۱۰۷	
۱۰۰	۱۰۳۸	۷۱۲	۵۳۴	۴۲۷	۳۵۶	۳۰۵	۲۶۷	۲۳۷	۲۱۴	۱۹۴	۱۷۸	۱۶۴	۱۵۳	۱۴۲	۱۳۳	۱۲۶	۱۱۹	۱۱۲	۱۰۷
$b_{w\,max}$ (cm)	۳۵۹	۲۳۹	۱۷۹	۱۴۴	۱۲۰	۱۰۳	۹۰	۸۰	۷۲	۶۵	۶۰	۵۵	۵۱	۴۸	۴۵	۴۲	۴۰	۳۸	۳۶

ادامه برش ۲-۲)

Φ 12 V_s = KN f_y = 400 MPa

d,cm \ S,cm	۵	۷/۵	۱۰	۱۲/۵	۱۵	۱۷/۵	۲۰	۲۲/۵	۲۵	۲۷/۵	۳۰	۳۲/۵	۳۵	۳۷/۵	۴۰	۴۲/۵	۴۵	۴۷/۵	۵۰
۲۵	۳۸۴	۲۵۶	۱۹۲	۱۵۴															
۳۰	۴۶۱	۳۰۷	۲۳۱	۱۸۴	۱۵۴														
۳۵	۵۳۸	۳۵۹	۲۶۹	۲۱۵	۱۷۹	۱۵۴													
۴۰	۶۱۵	۴۱۰	۳۰۷	۲۴۶	۲۰۵	۱۷۶	۱۵۴												
۴۵	۶۹۲	۴۶۱	۳۴۶	۲۷۷	۲۳۱	۱۹۸	۱۷۳	۱۵۴											
۵۰	۷۶۸	۵۱۲	۳۸۴	۳۰۷	۲۵۶	۲۲۰	۱۹۲	۱۷۱	۱۵۴										
۵۵	۸۴۵	۵۶۳	۴۲۳	۳۳۸	۲۸۲	۲۴۱	۲۱۱	۱۸۸	۱۶۹	۱۵۴									
۶۰	۹۲۲	۶۱۵	۴۶۱	۳۶۹	۳۰۷	۲۶۳	۲۳۱	۲۰۵	۱۸۴	۱۶۸	۱۵۴								
۶۵	۹۹۹	۶۶۶	۴۹۹	۴۰۰	۳۳۳	۲۸۵	۲۵۰	۲۲۲	۲۰۰	۱۸۲	۱۶۶	۱۵۴							
۷۰	۱۰۷۶	۷۱۷	۵۳۸	۴۳۰	۳۵۹	۳۰۷	۲۶۹	۲۳۹	۲۱۵	۱۹۶	۱۷۹	۱۶۶	۱۵۴						
۷۵	۱۱۵۳	۷۶۸	۵۷۶	۴۶۱	۳۸۴	۳۲۹	۲۸۸	۲۵۶	۲۳۱	۲۱۰	۱۹۲	۱۷۷	۱۶۵	۱۵۴					
۸۰	۱۲۲۹	۷۲۰	۶۱۵	۴۹۲	۴۱۰	۳۵۱	۳۰۷	۲۷۳	۲۴۶	۲۲۴	۲۰۵	۱۸۹	۱۷۶	۱۶۴	۱۵۴				
۸۵	۱۳۰۶	۷۷۱	۶۵۳	۵۲۳	۴۳۵	۳۷۳	۳۲۷	۲۹۰	۲۶۱	۲۳۸	۲۱۸	۲۰۱	۱۸۷	۱۷۴	۱۶۳	۱۵۴			
۹۰	۱۳۸۳	۹۲۲	۶۹۲	۵۵۳	۴۶۱	۳۹۵	۳۴۶	۳۰۷	۲۷۷	۲۵۱	۲۳۱	۲۱۳	۱۹۸	۱۸۴	۱۷۳	۱۶۳	۱۵۴		
۹۵	۱۴۶۰	۹۷۳	۷۳۰	۵۸۴	۴۸۷	۴۱۷	۳۶۵	۳۲۴	۲۹۲	۲۶۵	۲۴۳	۲۲۵	۲۰۹	۱۹۵	۱۸۲	۱۷۲	۱۶۲	۱۵۴	
۱۰۰	۱۵۳۷	۱۰۲۵	۷۶۸	۶۱۵	۵۱۲	۴۳۹	۳۸۴	۳۴۲	۳۰۷	۲۷۹	۲۵۶	۲۳۶	۲۲۰	۲۰۵	۱۹۲	۱۸۱	۱۷۱	۱۶۲	۱۵۴
$b_{w\,max}$ (cm)	۵۱۷	۳۴۴	۲۵۸	۲۰۷	۱۷۲	۱۴۸	۱۲۹	۱۱۵	۱۰۳	۹۴	۸۶	۷۹	۷۴	۶۹	۶۵	۶۱	۵۷	۵۴	۵۲

Φ 14 V_s = KN f_y = 400 MPa

d,cm \ S,cm	۵	۷/۵	۱۰	۱۲/۵	۱۵	۱۷/۵	۲۰	۲۲/۵	۲۵	۲۷/۵	۳۰	۳۲/۵	۳۵	۳۷/۵	۴۰	۴۲/۵	۴۵	۴۷/۵	۵۰
۲۵	۵۲۴	۳۴۹	۲۶۲	۲۰۹															
۳۰	۶۲۸	۴۱۹	۳۱۴	۲۵۱	۲۰۹														
۳۵	۷۳۳	۴۸۹	۳۶۷	۲۹۳	۲۴۴	۲۰۹													
۴۰	۸۳۸	۵۵۹	۴۱۹	۳۳۵	۲۷۹	۲۳۹	۲۰۹												
۴۵	۹۳۲	۶۲۸	۴۷۱	۳۷۷	۳۱۴	۲۶۹	۲۳۶	۲۰۹											
۵۰	۱۰۴۷	۶۹۸	۵۲۴	۴۱۹	۳۴۹	۲۹۹	۲۶۲	۲۳۳	۲۰۹										
۵۵	۱۱۵۲	۷۶۸	۵۷۶	۴۶۱	۳۸۴	۳۲۹	۸/۲۸	۲۵۶	۲۳۰	۲۰۹									
۶۰	۱۲۵۷	۸۳۸	۶۲۸	۵۰۳	۴۱۹	۳۵۹	۳۱۴	۲۷۹	۲۵۱	۲۲۸	۲۰۹								
۶۵	۱۳۶۱	۹۰۸	۶۸۱	۵۴۵	۴۵۴	۳۸۹	۳۴۰	۳۰۳	۲۷۲	۲۴۸	۲۲۷	۲۰۹							
۷۰	۱۴۶۶	۹۷۷	۷۳۳	۵۸۶	۴۸۹	۴۱۹	۳۶۷	۳۲۶	۲۹۳۶	۲۶۷	۲۴۴	۲۲۶	۲۰۹						
۷۵	۱۵۷۱	۱۰۴۷	۷۸۵	۶۲۸	۸۲۴	۴۴۹	۳۹۳	۳۴۹	۳۱۴	۲۸۶	۲۶۲	۲۴۲	۲۲۴	۲۰۹					
۸۰	۱۶۷۶	۱۱۱۷	۸۳۸	۶۷۰	۵۵۹	۴۷۹	۴۱۹	۳۷۲	۳۳۵	۳۰۵	۲۷۹	۲۵۸	۲۳۹	۲۲۳	۲۰۹				
۸۵	۱۷۸۰	۱۱۸۷	۸۹۰	۷۱۲	۵۹۳	۵۰۹	۴۴۵	۳۹۶	۳۵۶	۳۲۴	۲۹۷	۲۷۴	۲۵۴	۲۳۷	۲۲۳	۲۰۹			
۹۰	۱۸۸۵	۱۲۵۷	۸۴۲	۷۵۴	۶۲۸	۵۳۹	۴۷۱	۱۴۱۹	۳۷۷	۳۴۳	۳۱۴	۲۹۰	۲۶۹	۲۵۱	۲۳۶	۲۲۲	۲۰۹		
۹۵	۱۹۹۰	۱۳۲۶	۹۹۵	۷۹۶	۶۶۳	۵۳۸	۴۹۷	۴۴۲	۳۹۸	۳۶۲	۳۳۲	۳۰۶	۲۸۴	۲۶۵	۲۴۹	۲۳۴	۲۲۱	۲۰۹	
۱۰۰	۲۰۹۴	۱۳۹۶	۱۰۴۷	۷۳۸	۶۹۸	۵۹۸	۵۲۴	۴۶۵	۴۱۹	۳۸۱	۳۴۹	۳۲۲	۲۹۹	۲۷۹	۲۶۲	۲۴۶	۲۳۳	۲۲۰	۲۰۹
$b_{w\,max}$ (cm)	۷۰۴	۴۶۹	۳۵۲	۲۸۲	۲۳۵	۲۰۱	۱۷۶	۱۵۶	۱۴۱	۱۲۸	۱۱۷	۱۰۸	۱۰۱	۹۴	۸۸	۸۳	۷۸	۷۴	۷۰

برش ۳) ضرایب لازم برای طراحی خاموت‌های مایل

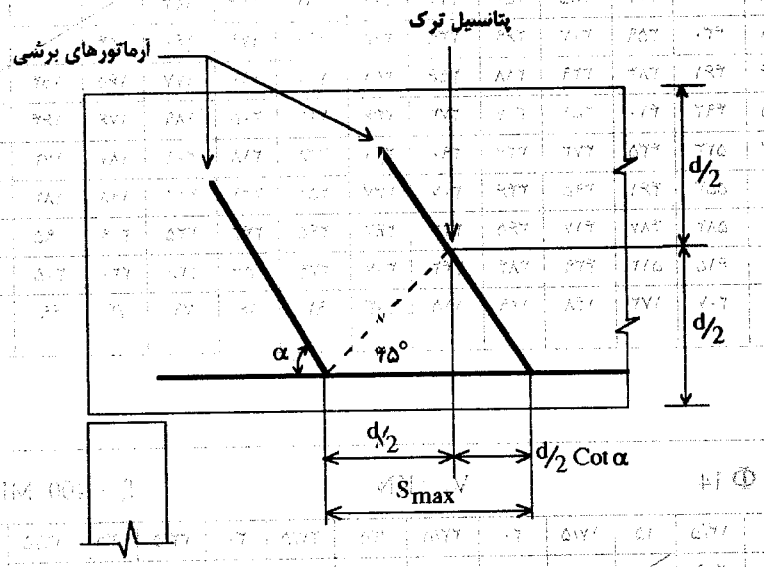
مراجع : بندهای ۱۲-۴-۱ و ۱۲-۶-۴-۲ و ۱۲-۶-۴-۳ و ۱۲-۴-۲-۲ و ۱۲-۴-۲-۴ از آیین‌نامه بتن ایران

برای خاموت‌ها اگر $V_s \leq 2V_c$ باشد داریم:

$$\frac{S_{max}}{d} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\text{Cot}\alpha$$

برای میلگردهای طولی خم شده اگر $V_s \leq 2V_c$ باشد داریم:

$$\frac{S_{max}}{d} = (\frac{3}{4})(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\text{Cot}\alpha)$$



α (درجه)		۹۰	۸۵	۸۰	۷۵	۷۰	۶۵	۶۰	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰
$B_v = \sin\alpha + \text{Cos}\,\alpha$		۱	۱/۰۸	۱/۱۶	۱/۲۲	۱/۲۸	۱/۳۳	۱/۳۷	۱/۳۹	۱/۴۱	۱/۴۱	۱/۴۱	۱/۳۹	۱/۳۷
$\frac{S_{max}}{d}$	برای خاموتهای مایل	۰/۵	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۶۳	۰/۶۸	۰/۷۳	۰/۷۹	۰/۸۵	۰/۹۲	۱	–	–	–
	برای میلگردهای خم شده	۰/۳۸	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۷۵	۰/۸۲	۰/۹۱	۱/۰۲

تذکر: در مواقعیکه $Vs > 2Vc$ می‌باشد، مقادیر $\frac{S_{max}}{d}$ باید به نصف تنلیل داده شوند.

برش ۴) تعیین درصد آرماتور ($100\rho_{uf}$) عمود بر صفحه برش، در برش اصطکاکی

مراجع : بخش ۱۲-۱۴ از آیین‌نامه بتن ایران.

مقادیر جدول برابر $100\rho_{uf}$ و یا $100\frac{A_{uf}}{A_{cv}}$ می‌باشند.

A_{uf} = سطح مقطع آرماتور برش اصطکاکی

A_{cv} = سطح مقطعی از بتن که در برابر برش مقاومت می‌کند

برای برش اصطکاکی داریم:

$$V_u \le \phi_s \mu . A_{uf} . f_y = \phi_s . \mu . \rho_{uf} . A_{cv} . f_y$$

$$\frac{V_u}{A_{cv}} \quad V_u \le \phi_s \mu . \rho_{uf} . f_y \le 0.25 \phi_s . f_c \ (6.5 \phi_c \text{ با حداکثر مقدار})$$

		$100\ \rho_{uf}$											
	$\frac{V_u}{A_{cv}}$ MPa	بتنی که بصورت یکپارچه، ریخته شود. $\mu = 1.25$			بتنی که در مجاورت بتن سخت شده دارای سطح زبر، ریخته شود. $\mu = 0.9$			بتنی که بوسیله گل میخ یا میگلرد به پروفیل فولادی متصل می‌شود. $\mu = 0.6$			بتنی که در مجاورت بتن سخت شده دارای سطح نرم، ریخته شود. $\mu = 0.5$		
		f_y , MPa			f_y , MPa			f_y , MPa			f_y , MPa		
		۲۲۰	۳۰۰	۴۰۰	۲۲۰	۳۰۰	۴۰۰	۲۲۰	۳۰۰	۴۰۰	۲۲۰	۳۰۰	۴۰۰
$7.5 f_c = 319$ MPa / $f_c = 20$ MPa	۰/۵	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۳۰	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۴۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۵۳	۰/۳۹	۰/۲۹
	۰/۷۵	۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۴۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۶۷	۰/۴۹	۰/۳۷	۰/۸۰	۰/۵۹	۰/۴۴
	۱	۰/۴۳	۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۵۹	۰/۴۴	۰/۳۳	۰/۸۹	۰/۶۵	۰/۴۹	۱/۰۷	۰/۷۸	۰/۵۹
	۱/۲۵	۰/۵۳	۰/۳۹	۰/۲۹	۰/۷۴	۰/۵۴	۰/۴۱	۱/۱۱	۰/۸۲	۰/۶۱	۱/۳۴	۰/۹۸	۰/۷۴
	۱/۵	۰/۶۴	۰/۴۷	۰/۳۵	۰/۸۹	۰/۶۵	۰/۴۹	۱/۳۴	۰/۹۸	۰/۷۴	۱/۶۰	۱/۱۸	۰/۸۸
	۱/۷۵	۰/۷۵	۰/۵۵	۰/۴۱	۱/۰۴	۰/۷۶	۰/۵۷	۱/۵۶	۱/۱۴	۰/۸۶	۱/۸۷	۱/۳۷	۱/۰۳
	۲	۰/۸۶	۰/۶۳	۰/۴۷	۱/۱۹	۰/۸۷	۰/۶۵	۱/۷۸	۱/۳۱	۰/۹۸	۲/۱۴	۱/۵۷	۱/۱۸
	۲/۲۵	۰/۹۶	۰/۷۱	۰/۵۳	۱/۳۴	۰/۹۸	۰/۷۴	۲/۰۱	۱/۴۷	۱/۱۰	۲/۴۱	۱/۷۶	۱/۳۲
	۲/۵	۱/۰۷	۰/۷۸	۰/۵۹	۱/۴۹	۱/۰۹	۰/۸۲	۲/۲۳	۱/۶۳	۱/۲۳	۲/۶۷	۱/۹۶	۱/۴۷
	۲/۷۵	۱/۱۸	۰/۸۶	۰/۶۵	۱/۶۳	۱/۲۰	۰/۹۰	۲/۴۵	۱/۸۰	۱/۳۵	۲/۹۴	۲/۱۶	۱/۶۲
	۳	۱/۲۸	۰/۹۴	۰/۷۱	۱/۷۸	۱/۳۱	۰/۹۸	۲/۶۷	۱/۹۶	۱/۴۷	۳/۲۱	۲/۳۵	۱/۷۶
	۳/۲۵	۱/۳۹	۱/۰۲	۰/۷۶	۱/۹۳	۱/۴۲	۱/۰۶	۲/۹۰	۲/۱۲	۱/۵۹	۳/۴۸	۲/۵۵	۱/۹۱
	۳/۵	۱/۵۰	۱/۱۰	۰/۸۲	۲/۰۸	۱/۵۳	۱/۱۴	۳/۱۲	۲/۲۹	۱/۷۲	۳/۷۴	۲/۷۵	۲/۰۶
	۳/۷۵	۱/۶۰	۱/۱۸	۰/۸۸	۲/۲۳	۱/۶۳	۱/۲۳	۳/۳۴	۲/۴۵	۱/۸۴	۴/۰۱	۲/۹۴	۲/۲۱
	۳/۹	۱/۶۷	۱/۲۲	۰/۹۲	۲/۳۲	۱/۷۰	۱/۲۷	۳/۴۸	۲/۵۵	۱/۹۱	۴/۱۴	۳/۰۶	۲/۲۹

تغییر شکلها

مثال ۱ ممان اینرسی برای موثر برای یک مقطع مستطیل شکل با آرماتور کششی

ممان اینرسی موثر را برای تیر مستطیل شکل زیر محاسبه نمائید.

: مشخصات

$b = 35$ cm

$d = 55$ cm

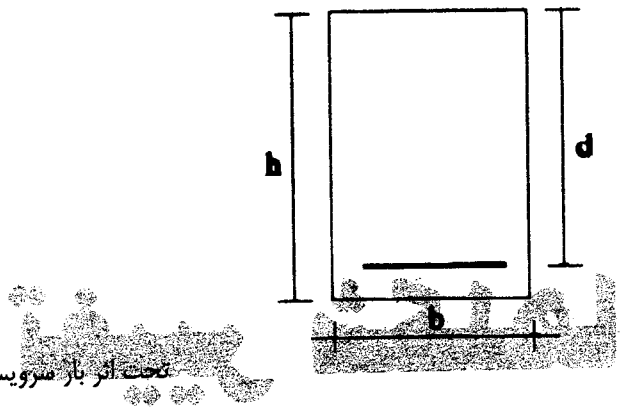
$h = 60$ cm

$A_s = 40\ cm^2$

$f_c = 30$ Mpa

$n = 8$

$M_a = 242$ KN.m تحت اثر بار سرویس



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی **گام اول)** محاسبه لنگر خمشی ترک خوردگی مقطع $f_c = 0.6\sqrt{f_c}$ $I_g = \frac{bh^3}{12}$ $M_{cr} = \frac{f_r . I_g}{y_t}$	۲-۲-۲-۱۴ معادله ۳-۱۴
	$f_c = 0.6\sqrt{30} = 3.29$ Mpa $I_g = \frac{0.35 \times 0.6^3}{12} = 6.3 \times 10^{-3}\ m^4$ $M_{cr} = \frac{3.29 \times 6.3 \times 10^{-3}}{0.3} \times 10^3 = 69.1$ KN.m		
		گام دوم) محاسبه‌ممان اینرسی مقطع ترک خورده برای مقاطع‌مستطیل شکل بدون آرماتور فشاری داریم: $\frac{bx^2}{2} - nA_s(d-x) = 0$ x فاصله محور خنثی از تار فوقانی تیر می‌باشد. $I_{cr} = \frac{bc^3}{3} + nA_s(d-x)^2$	
	$\frac{35x^2}{2} - 8 \times 40(55-x) = 0$ $17.5x^2 + 320x - 17600 = 0$ $\rightarrow x = 23.86$ cm $I_{cr} = \frac{35 \times 23.86^3}{3} + 8 \times 40(55-23.86)^2$ $I_{cr} = 468778\ cm^4$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام سوم) محاسبه ممان اینرسی کل مقطع $I_g = \frac{bh^3}{12}$	
	$I_g = \frac{0.35 \times 60^3}{12} = 630000 \quad cm^4$		
		گام چهارم) محاسبه‌ممان اینرسی موثر مقطع $I_e = I_{cr} + (I_g - I_{cr})(\frac{M_{cr}}{M_a})^3$	۲-۲-۲-۱۴ معادله ۱-۱۴
	$I_e = 468778 + (630000 - 468778) \times (\frac{69.1}{242})^3$ **Ie = 468778+3753** **Ie = 472531 cm4 < Ig O.K.**		
		ب) با استفاده از جداول کمکی **گام اول)**	
افت ۱	برای $h = 60cm$ و $f_c = 30$ Mpa داریم:	محاسبه M_{cr}	۲-۲-۲-۱۴
	$K_{cr} = 197.18$	ابتدا مقدار K_{cr} به دست می‌آید. سپس با استفاده از فرمول زیر M_{cr} محاسبه می‌شود: $M_{cr} = K_{cr} \frac{b}{100}$	
	$M_{cr} = 197.18 \times \frac{35}{100} = 69 \quad KN.m$		
		گام دوم) محاسبه I_{cr} ابتدا مقدار ρ محاسبه می‌شود. $\rho = \frac{A_s}{bd}$	
	$\rho = \frac{40}{35 \times 55} = 0.0208$ برای $\rho = 0.0208$ و $n = 8$ داریم: $K_{il} = 0.08$ $Icr = 0.08 \times 35 \times 55^3 = 465850 \quad cm^4$	$I_{cr} = K_{il}\, bd^3$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام سوم) محاسبه I_g $I_g = \frac{bh^3}{12}$	
	$I_g = \frac{35 \times 60^3}{12} = 630000 \quad cm^4$		
		گام چهارم) محاسبه I_e ابتدا مقادیر $\frac{I_{cr}}{I_g}$ و $\frac{M_{cr}}{M_a}$ محاسبه می‌شوند و سپس K_{i3} بدست می‌آید.	
	$\frac{I_{cr}}{I_g} = \frac{465850}{630000} = 0.74$		
	$\frac{M_{cr}}{M_a} = \frac{69}{242} = 0.285$		
	برای $\frac{I_{cr}}{I_g} = 0.74$ و $\frac{M_{cr}}{M_a} = 0.285$ داریم:		
	$K_{i3} = 0.755$		
	$Ie = 0.755 \times 630000 = 475650 \ cm4$	$I_e = K_{i3}.I_g$	

مثال ۲ افت یک تیر مستطیل شکل با دهانه ساده و دارای آرماتور کششی

افت ناشی از بار زنده را در وسط دهانه تیر زیر تعیین کنید.M_d و M_{d+1} لنگرهای ناشی از بارهای بهره‌برداری می‌باشند.

مشخصات :

$b = 35$ cm

$d = 55$ cm

$h = 60$ cm

$A_s = 40$ cm^2

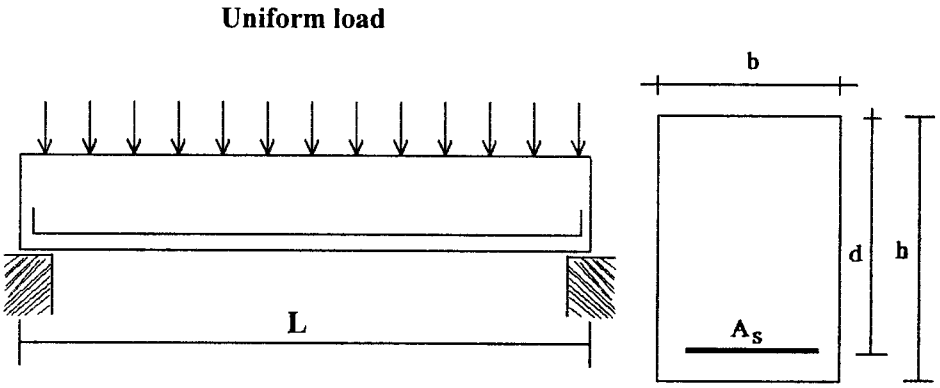
$f_c = 30$ Mpa

$n = 8$

$M_d = 165$ KN.m

$M_{d+1} = 243$ KN.m

$L = 12$ m



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	با توجه به مثال افت ۱ مقادیر I_{cr} و I_g و M_{cr} برابرند با :	**الف : با استفاده از روش تحلیلی** **گام اول)** محاسبه I_e برای لنگر ناشی از بار مرده	۲-۲-۲-۱۴
	$I_{cr} = 468778$ cm^4		
	$I_g = 630000$ cm^4		
	$M_{cr} = 69.1$ KN.m		
	$I_{ed} = 468778 + (630000 - 468778)(\frac{69.1}{165})^3$	$I_{ed} = I_{cr} + (I_g - I_{cr})(\frac{M_{cr}}{M_d})^3$	معادله۱۴-۱
	$I_{ed} = 480620$ cm^4		
		گام دوم) محاسبه تغییر شکل ناشی از بار مرده $a_d = \frac{5}{384}\frac{q_d.L^4}{E.I_{ed}}$ و یا :	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$a_d = \frac{5}{48}\frac{165\times10^{-3}\times12^2}{E\times480620\times10^{-8}}$ $a_d = \frac{514/96}{E}$ و : $E = 5000\sqrt{30} = 27386 \ \ Mpa$ بنابراین: $a_d = \frac{514/96}{27386} = 0.019m$ و یا : $a_d = 1.9 \ \ cm$	$a_d = \frac{5}{48}\frac{(q_d.L^2/8)L^2}{E.I_{ed}}$ $E = 5000\sqrt{f_c}$	۱-۳-۳-۱۰
	$I_{e(d+1)} = 468778 + (630000 - 468778) \times (\frac{69.1}{243})^3$ $I_{e(d+1)} = 472485 \ \ cm^4$	**گام سوم)** محاسبه I_e ناشی از بار مرده و زنده $I_{e(d+1)} = I_{cr} + (I_g - I_{cr}) \times (\frac{M_{cr}}{M_{d+1}})^3$	۲-۲-۲-۱۴
	$a_{d+1} = \frac{5}{48}\frac{243\times10^{-3}\times12^2}{27386\times472485\times10^{-8}}$ $a_{d+1} = 0.028 \ \ m$ و : $a_{d+1} = 2.8 \ \ cm$	**گام چهارم)** محاسبه تغییر شکل ناشی از بار مرده و زنده $a_{d+1} = \frac{5}{48}\frac{(q_{d+L}L^2/8)L^2}{E.I_{e(d+1)}}$	
	$a_l = 2.8 - 1.8 = 0.9 \ \ cm$	**گام پنجم)** محاسبه تغییر شکل ناشی از بار زنده $a_l = a_{d+1} - a_d$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		ب) با استفاده از جداول کمکی	
		گام اول)	
		محاسبه I_e برای M_d	۲-۲-۲-۱۴
	با توجه به قسمت الف داریم:	ابتدا $\frac{I_{cr}}{I_g}$ و $\frac{M_{cr}}{M_d}$ محاسبه می‌شوند	
	$\frac{I_{cr}}{I_g} = \frac{468778}{630000} = 0.74$		
	$\frac{M_{cr}}{M_a} = \frac{69.1}{165} = 0.42$		
افت ۴	برای $\frac{I_{cr}}{I_g} = 0.74$ و $\frac{M_{cr}}{M_d} = 0.42$ داریم:	سپس K_{i3} تعیین می‌گردد.	
	$K_{i3} = 0.768$		
	$Ie = 0.768 \times 630000 = 483840 \ cm^4$	$I_{ed} = K_{i3}.I_g$	
		گام دوم)	
افت ۵-۱	برای حالت دوم داریم: $K_{a3} = 5$	محاسبه تغییر شکل ناشی از بار مرده ابتدا مقدار K_{a3} تعیین می‌شود.	
افت ۵-۲	برای $fc = 30$ Mpa و $L = 12$ m داریم:	سپس مقدار K_{a1} تعیین می‌گردد :	
	$K_{a1} = 1095.45$		
	$a_d = \frac{1095.45}{483840} \times 5 \times 165 = 1.87 \ cm$	$a_d = \frac{K_{a1}}{I_{ed}}.K_{a3}.M_d$	

مثال ۳ ممان اینرسی مقطع ترک خورده T شکل با آرماتور کششی

ممان اینرسی مقطع ترک خورده I_{cr} را برای شکل زیر بدست آورید.

مشخصات :

$n = 9$

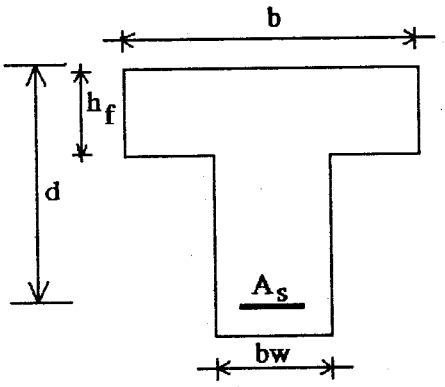
$b = 115\ cm$

$b_w = 60\ cm$

$h_f = 15\ cm$

$d = 90\ cm$

$A_s = 180\ cm^2$



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی **گام اول)** محاسبه فاصله بین محور خنثی و تار فوقانی نیز برای تیر T شکل و بدون آرماتور فشاری داریم:	
	$15(115-60)(x-15/2)+30x^2-9\times180$ $(90-x)=0$ و یا: $30x^2+2445x-151987.5=0$ $\rightarrow x=41.27\ \ cm>h_f\quad OK.$ چون x بزرگتر از hf شده است محاسبات تیر T شکل را ادامه می‌دهیم.	$h_f(b-b_w)(x-h_f/2)+\frac{1}{2}b_w x^2$ $-n.A_s(d-x)=0$ تذکر: اگر x کوچکتر از h_f شود باید مستطیل بزرگ به‌عرض b را در محاسبات مدنظر قرار داد.	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام دوم) محاسبه I_{cr} برای تیر T شکل و بدون آرماتور فشاری داریم: $I_{cr}=\frac{1}{3}b_w x^3+n.A_s(d-x)^2+\frac{1}{12}$ $(b-b_w)h_f{}^3+(b-b_w).h_{fx}(x-\frac{h_f}{2})^2$	
	$=\frac{1}{3}\times 60\times 41.27^3+9\times 180\times(90-41.27)^2+$ $\times(115-60)\times 15^3+(115-60)\times 15\times$ $1.27-\frac{15}{2})^2=620914 \quad cm^4$		
		ب: با استفاده از جداول **گام اول)** محاسبه ثابت‌های جدول $\rho_w=\frac{A_s}{b_w.d}$ $\rho_w.n$ $\frac{h_f}{2d}$ $\beta_c=\frac{\frac{b}{b_w}-1)\frac{h_f}{d}}{\rho_w.n}$	
	$\rho_w=\frac{180}{60\times 90}=0.0333$ $\rho_w.n=0.0333\times 9=0.3$ $\frac{h_f}{2d}=\frac{15}{2\times 90}=0.0833$ $\beta_c=\frac{\frac{115}{60}-1)\frac{15}{90}}{0.3}=0.51$		
	برای $\beta_c=0.51$ و $\rho_w.n=0.3$ و $\frac{h_f}{2d}=0.0833$ داریم : $K_{i2}=0.14$	**گام دوم)** محاسبه K_{i2}	
	$I_{cr}=0.14\times 60\times 90^3=6123600 \quad cm^4$	**گام سوم)** محاسبه I_{cr} $I_{cr}=K_{i3}\ .\ b_w.d^3$	

مثال ۴ ممان اینرسی یک مقطع ترک خورده و دارای آرماتور کششی و فشاری

ممان اینرسی مقطع ترک خورده I_{cr} را برای شکل زبر بدست آورید. مقطع تحت تاثیر لنگر منفی قرار دارد.

مشخصات :

$n = 9$

$b = 45\ cm$

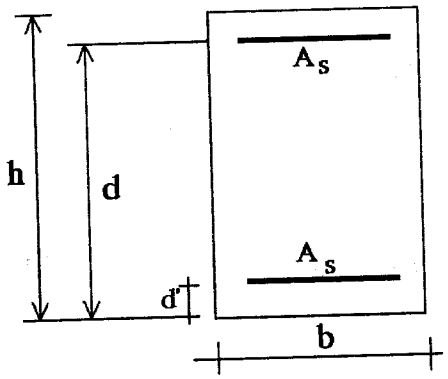
$h = 100\ cm$

$d = 90\ cm$

$d' = 6.5\ cm$

$A_s = 88\ cm^2$

$A'_s = 42\ cm^2$



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی **گام اول)** محاسبه فاصله بین محور خنثی و تار فوقانی تیر برای تیر مستطیل شکل و دارای آرماتور فشاری داریم: $\frac{1}{2}bx^2 + (n-1)A'_s(x-d') - n.A_s (d-x) = 0$	$22.5x^2 + 8\times 88\times(x-6.5) - 9\times 88 (90-x) = 0$ و یا: $22.5x^2 + 128x - 73464 = 0$ $\rightarrow x = 33.66cm$
		گام دوم) محاسبه I_{cr} برای تیر مستطیل شکل و دارای آرماتور فشاری داریم:	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$I_{cr}=\frac{1}{3}\times 45\times 33.66^3+8\times 42\times(33.66-6.5)^2$ $+9\times 88\times(90-33.66)^2$ $I_{cr}=3333868\ \ cm^4$	$I_{cr}=\frac{1}{3}b_w x^3+(n-1)A'_s(x-d')^2+$ $nA_s(d-x)^2$	
		ب: با استفاده از جداول **گام اول)** محاسبه ثابت‌های جدول $\rho=\frac{A_s}{b_w.d}$ $\rho'=\frac{A'_s}{b_w.d}$ $\rho.n$ $\beta_c=\frac{\rho'(n-1)}{\rho.n}$ $\frac{d'}{d}$	
	$\rho=\frac{88}{45\times 90}=0.0217$ $\rho'=\frac{42}{45\times 90}=0.0104$ $\rho.n=0.0217\times 9=0.1953$ $\beta_c=\frac{0.0104(9-1)}{0.1953}=0.426$ $\frac{d'}{d}=\frac{6.5}{90}=0.0722$		
افت ۳-۱	برای $\beta_c=0.4$ و $\rho.n=0.1953$ و $\frac{d'}{d}=0.0722$ داریم : $K_{i2}=0.102$	**گام دوم)** محاسبه K_{i2}	
افت ۳-۱	برای $\beta_c=0.5$ و $\rho.n=0.1953$ و $\frac{d'}{d}=0.0722$ داریم : $K_{i2}=0.104$ با استفاده از درون‌یابی، برای $\beta_c=0.426$ داریم : $K_{i2}=0.1025$		
	$I_{cr}=0.1025\times 45\times 90^3=3362513\ \ cm^4$	**گام سوم)** محاسبه I_{cr} $I_{cr}=K_{i2}\ .\ b_w.d^3$	

مثال ۵ افت ناشی از بار زنده و افت درازمدت در یک تیر پیوسته

افت ناشی از بار زنده و افت درازمدت را در تیر شکل زیر محاسبه نمایید. تمام لنگرها ناشی از بارهای بهره‌برداری می‌باشند.

مشخصات :

$f_c = 20$ Mpa

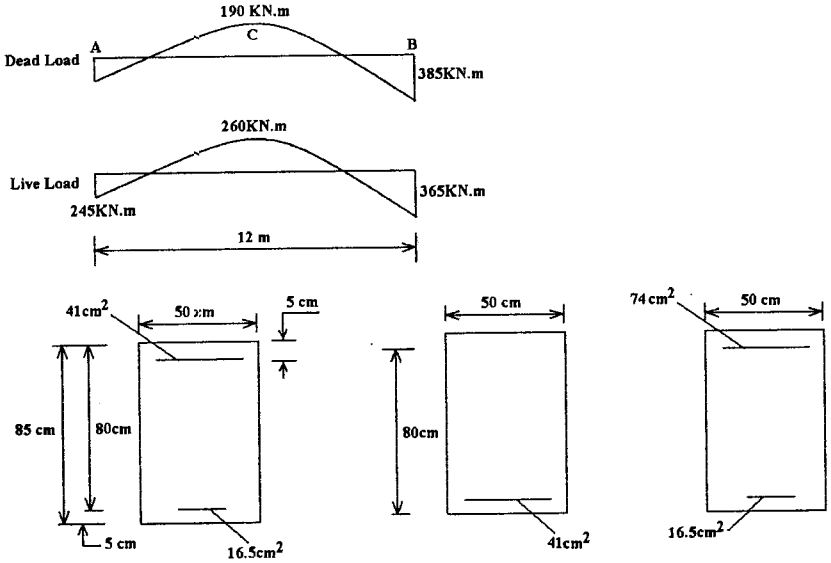
$f_y = 300$ Mpa

$n = 9$

$q_d = 26.5$ KN/m

$q_l = 31.4$ KN/m

تذکر: طبق بند ۱۴-۲-۲-۲-ب از آیین‌نامه ایران می‌توان از I_e محاسبه شده در وسط دهانه (مقطع C) استفاده نمود.



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول)	
		محاسبه I_g	
	$I_g = \frac{50 \times 85^3}{12} = 2558854 \quad cm^4$	$I_g = \frac{bh^3}{12}$	
		گام دوم)	
	برای مقطع A داریم:	محاسبه I_{cr} برای هر یک از مقاطع برای مقاطع مستطیل شکل و دارای آرماتور فشاری با استفاده از معادله زیر، محل محور خنثی به دست می‌آید:	
	$25x^2 + 8 \times 16.5 \times (x-5) - 9 \times 41 (80-x) = 0$	$\frac{1}{2}bx^2 + (n-1)A'_s(x-d') - n.A_s (d-x) = 0$	
	و یا :	سپس با استفاده از فرمول:	
	$25x^2 + 501 - 30180 = 0$ $\rightarrow x = 26.14cm$	$I_{cr} = \frac{1}{3}bx^3 + (n-1)A'_s(x-d')^2 + nA_s(d-x)^2$ ممان اینرسی مقطع ترک خورده محاسبه می‌گردد.	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$I_{cr}=\frac{1}{3}\times 50\times 26.14^3+8\times 16.5\times(26.14-5)^2$ $+9\times 41\times(80-26.14)2$ $I_{cr}=1427114$ برای مقطع B داریم : $25x^2+8\times 16.5\times(x-5)-9\times 74(80-x)=0$ و یا : $25x^2+798x-53940=0$ $\rightarrow x=33.16\ \ cm$ $I_{cr}=\frac{1}{3}\times 50\times 33.16^3+8\times 16.5\times(33.16-5)^2$ $+9\times 74\times(80-33.16)2$ $I_{cr}=2173573$ برای مقطع C داریم : $25x^2-9\times 41(80-x)=0$ و یا : $25x^2+369x-29520=0$ $\rightarrow x=27.77\ \ cm$ $I_{cr}=\frac{1}{3}\times 50\times 27.77^3+9\times 41\times(80-x)^2$ $I_{cr}=1363547$		
	گام سوم) محاسبه M_{cr} $f_r=0.6\sqrt{f_c}$ $M_{cr}=\frac{f_r.Ig}{y_t}$ $f_r=0.6\sqrt{20}=2.68Mpa$ $M_{cr}=\frac{2.68\times 2558854\times 10^{-8}}{0.425}\times 10^3$ $M_{cr}=161.4\ \ KN.m$		۲-۲-۲-۱۴ معادله ۳-۱۴ معادله ۳-۱۴

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام چهارم)	
		محاسبه I_{ed} برای بار مرده	۱۴-۲-۲-۲
		$I_{ed} = I_{cr} + (I_g - I_{cr})(\frac{M_{cr}}{M_d})^3$	معادله ۱۴-۱
	برای مقطع A داریم :		
	$I_{ed} = 1427114 + (2558854 - 1427114) \times (\frac{161.4}{190})^3 = 2120854$		
	برای مقطع B داریم :		
	$I_{ed} = 2173573 + (2558854 - 2173573) \times (\frac{161.4}{385})^3 = 2201959$		
	برای مقطع C داریم :		
	$I_{ed} = 1363547 + (2558854 - 1363547) \times (\frac{161.4}{190})^3 = 2096252$		
		مقدار I_{ed} متوسط با در نظر گرفتن ضریب ۲ برای مقطع بحرانی وسط دهانه، برابر است با :	
	$\overline{I_{ed}} = \frac{1}{4}(2120854 + 2 \times 2096252 + 2201959) = 2128829$	$\overline{I_{ed}} = \frac{1}{4}(I_A + 2I_c + I_B)$	
	$I_{ed1} = 2096252 \ cm^4$ $I_{e2} = 2128829 \ cm^4$	دو مقدار برای I_{ed} می‌توان در نظر گرفت: $I_{ed1} = I_c$ $I_{ed2} = \overline{I_{ed}}$	۱۴-۲-۲-۲ب

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام پنجم) محاسبه افت ناشی از بار مرده $a_d = \frac{5}{284}\frac{q_d.L^4}{E.I_{ed}} - \frac{1}{16}\frac{L^2}{EI_{ed}} \times (M_A + M_B)$ $E = 5000\sqrt{f_c}$	۱-۳-۳-۱۰
	$a_d = \frac{5}{384}\frac{26.5\times10^{-3}\times12^4}{E.I_{ed}} - \frac{1}{16}$ $\frac{12^2}{E.I_{ed}}(190+385)\times10^{-3}$ $a_d = \frac{1.98}{E.I_{ed}}$ و : $E = 5000\sqrt{20} = 22361$ Mpa بنابراین: $a_d = \frac{8.85\times10^{-5}}{I_{ed}}$ اگر $I_{ed} = I_c$ باشد : $a_d = \frac{8.85\times10^{-5}}{2096252\times10^{-8}} = 4.22\times10^{-3}$ m و یا : $a_d = 0.422$ cm اگر $I_{ed} = \overline{I_{ed}}$ باشد : $a_d = \frac{8.85\times10^{-5}}{2128829\times10^{-8}} = 4.16\times10^{-3}$ m و یا : $a_d = 0.416$ cm		
		گام ششم) محاسبه I_e برای مجموع بار مرده و زنده $I_e = I_{cr} + (I_g - I_{cr})(\frac{M_{cr}}{M_a})^3$ که در آن : $M_a = M_d + M_l$	۲-۲-۲-۱۴ معادله ۱-۱۴

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	برای مقطع A داریم : $I_e = 1427114 + (2558854 - 1427114) \times (\frac{151.4}{190+245})^3 = 1484922$ برای مقطع B داریم : $I_e = 2173573 + (2558854 - 2173573) \times (\frac{151.4}{385+365})^3 = 2177413$ برای مقطع C داریم : $I_e = 1363547 + (2558854 - 1363547) \times (\frac{161.4}{190+260})^3 = 1418698$ $I_e = 1418698$ $\overline{I_e} = \frac{1}{4}(14849224 + 2\times 1418698 + 2177413) = 1624933 \quad cm^4$ $I_{e1} = 141869 \quad cm^4$ $I_{e2} = 1624933 \quad cm^4$	$\overline{I_e} = \frac{1}{4}(I_A + 2I_C + I_B)$ دو مقدار برای I_c می‌توان در نظر گرفت: $I_{e1} = I_c$ $I_{e2} = \overline{I_e}$	۱۴-۲-۲-۲ب
	$a_{d+1} = \frac{5}{384}\frac{(26.5+31.4)\times 10^{-3}\times 12^4}{22361\times I_e} - \frac{1}{16}$ $\frac{1}{16}\times\frac{12^2}{22361\times I_e}(435+750)\times 10^{-3}$ $= \frac{2.322\times 10^{-4}}{I_e}$	**گام هفتم)** محاسبه افت ناشی از مجموع بارمرده و زنده $a_{d+1} = \frac{5}{384}\frac{q.L^4}{E.I_e} - \frac{1}{16}\frac{L^2}{EI_e}\times (M_A + M_B)$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	اگر $I_e = I_c$ باشد : $a_{d+1} = \frac{2.222 \times 10^{-4}}{141869 \times 10^{-8}} = 0.01566$ m و یا : $a_{d+1} = 1.566$ cm اگر $I_e = \overline{I_e}$ باشد : $a_{d+1} = \frac{2.222 \times 10^{-4}}{1624933 \times 10^{-8}} = 0.01367$ m و یا : $a_{d+1} = 1.367$ cm		
	اگر $I_e = I_c$ باشد : $a_1 = 1.566 - 0.422 = 1.144$ cm اگر $I_e = \overline{I_e}$ باشد : $a_1 = 1.367 - 0.416 = 0.951$ cm	**گام هشتم)** محاسبه افت ناشی از بار زنده $a_1 = a_{d+1} - a_d$	
	$\lambda = \frac{2}{1 + 50 \times 0} = 2$ اگر $I_e = I_c$ باشد : $a_{TOT} = 3 \times 0.1121 + 0.7817 = 1.118$ cm اگر $I_e = \overline{I_e}$ باشد : $a_{TOT} = 3 \times 0.1104 + 0.6699 = 1.001$ cm	**گام نهم)** محاسبه افت دراز مدت $\lambda = \frac{2}{1 + 50\rho'}$ در این رابطه ρ' نسبت آرماتور فشاری در مقطع وسط دهانه می‌باشد. $a_{TOT} = (1+\lambda)\, a_d + a_1$	۳-۲-۲-۱۴ معادله ۱۴-۴

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام دهم) کنترل محدودیت افت در ساختمانهای متعارف محدودیت‌های زیر باید رعایت شوند: $\frac{a_1}{L} < \frac{1}{360}$ $\frac{a_1 + \lambda_{ad}}{L} < \frac{1}{240}$	۴-۲-۱۴ ۲-۴-۲-۱۴
	$\frac{0.7817}{1200} = \frac{1}{1535} < \frac{1}{360}$ OK. و : $\frac{0.7817 + 2\times 0.1121}{1200} = \frac{1}{1193} < \frac{1}{240}$ OK.		
		ب: با استفاده از جداول **گام اول)** محاسبه I_g $I_g = \frac{bh^3}{12}$	
	$I_g = \frac{50\times 85^3}{12} = 2558854 cm^4$		
		گام دوم) محاسبه I_{cr} برای هر یک از مقاطع A و B داریم:	۲-۲-۲-۱۴
	مقطع A — مقطع B		
	$\rho = 0.0103$ — 0.0185	$\rho = A_s / bd$	
	$\rho' = 0.0041$ — 0.0041	$\rho' = A'_s / bd$	
	$\rho.n = 0.0927$ — 0.1665	$\rho.n$	
	$\beta_c = 0.35$ — 0.2	$\beta_c = \frac{(n-1)\rho'}{\rho.n}$	
	$d'/d = 0.0625$ — 0.0625	d'/d	
افت ۳-۱	$K_{i2} = 0.055$ — 0.083	حال مقدار K_{i2} از روی جدول بدست می‌آید:	
	$I_{cr} = 1408000$ — 2124800	$I_{cr} = K_{i2}.db^3 = K_{i2} \times 50 \times 80^3$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
افت ۲	$\rho = \frac{41}{50 \times 80} = 0.0103$ برای $n = 9$ و $\rho = 0.0103$ داریم : $K_{il} = 0.053$ $I_{cr} = 0.053 \times 50 \times 80^3 = 1356800\ cm^4$	برای مقطع C داریم: $\rho = A_s / bd$ حال مقدار K_{il} از روی جدول به دست می‌آید. $I_{cr} = K_{il} \cdot bd^3$	
افت ۱	برای fc=20 Mpa و h = 85cm داریم: $K_{cr} = 323.11$ $M_{cr} = 323.11 \times \frac{50}{100} = 161.5 \quad KN.m$	**گام سوم)** محاسبه M_{cr} $M_{cr} = K_{cr} \frac{b}{100}$	
افت ۴	مقطع C / مقطع B / مقطع A Mcr/Ma: 0.85 / 0.42 / 0.85 I_{cr}/I_g: 0.55 / 0.83 / 0.53 K_{i3}: 0.826 / 0.843 / 0.818 Ied: 2113613 / 2157114 / 2093143 $\overline{I_{ed}} = \frac{1}{4}(2113613 + 2 \times 2093143 + 2157114) = 2114253 \quad cm^4$ $I_{ed1} = 2093143 \quad cm^4$ $I_{ed2} = 2114253 \quad cm^4$	**گام چهارم)** محاسبه I_{ed} برای بار مرده $M_{cr} / M_a = \frac{161.5}{M_d}$ $I_{cr} / I_g = I_{cr} / 2558854$ حال مقدار K_{i3} از روی جدول به دست می‌آید. $I_{ed} = K_{i3} I_g = K_{i3} \times 2558854$ مقدار I_{ed} متوسط با در نظر گرفتن ضریب ۲ برای مقطع بحرانی وسط دهانه، برابر است با : $\overline{I_{ed}} = \frac{1}{4}(I_A + 2I_C + I_B)$ دو مقدار برای I_{ed} می‌توان در نظر گرفت: $I_{ed1} = I_c$ $I_{ed2} = \overline{I_{ed}}$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
افت ۵-۲ افت ۵-۱	برای $f_c = 20Mpa$ و $L=12\ m$ داریم : $K_{a1} = 1341.64$ برای حالت ۷ داریم : $K_{a3} = 5$ اگر $I_{ed} = I_c$ باشد: $a_d = \frac{5}{2093143}[190 - 0.1(190+385)]\times 1341.64 = 0.425\ \ cm$ اگر $I_{ed} = \overline{I_{ed}}$ باشد : $a_d = \frac{5}{2114253}[190 - 0.1(190+385)]\times 1341.64 = 0.42\ \ cm$	**گام پنجم)** محاسبه افت ناشی از بار مرده مقادیر K_{a1} و K_{a3} از روی جداول تعیین می‌شوند. $a_d = \frac{K_{a3}}{I_{ed}}[M_C - 0.1(M_A + M_B)]\times K_{a1}$	
افت ۴	مقطع A مقطع B مقطع C Mcr\Ma 0.37 0.215 0.36 I_{cr}/I_g 0.55 0.83 0.53 K_{i3} 0.573 0.832 0.552 Ied 1466223 2128967 1412487 $\overline{I_e} = \frac{1}{4}(1466223 + 2\times 1412487 + 2128967) = 1605041\ \ cm^4$ $I_{e1} = 1412487\ \ cm^4$ $I_{e2} = 1605041\ \ cm^4$	**گام ششم)** محاسبه I_e برای بار مرده و زنده $M_{cr}/M_a = \frac{161.5}{M_{d+1}}$ $I_{cr}/I_g = I_{cr}/2558854$ حال مقدار K_{i3} از روی جدول به دست می‌آید. $I_e = K_{i3}I_g = K_{i3}\times 2558854$ $\overline{I_e} = \frac{1}{4}(I_A + 2I_C + I_B)$ دو مقدار برای I_e می‌توان در نظر گرفت: $I_{e1} = I_c$ $I_{e2} = \overline{I_e}$	۱۴-۲-۲-۲-ب

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
افت ۵-۱ و افت ۵-۲	برای $I_e = I_c$ باشد : $a_{d+1} = \frac{5}{1412487}[450 - 0.1(435 + 750)] \times 1341.64 = 1.575$ cm اگر $I_{ed} = \overline{I_{ed}}$ باشد : $a_{d+1} = \frac{5}{1605041}[450 - 0.1(435 + 750)] \times 1341.64 = 1.386$ cm	**گام هفتم)** محاسبه افت ناشی از مجموع بار مرده و زنده $a_{d+1} = \frac{K_{a3}}{I_e}[M_C - 0.1(M_A + M_B)] \times K_{a1}$	
	برای $I_e = I_c$ باشد : $a_l = 1.575 - 0.425 = 1.15$ cm اگر $I_e = \overline{I_e}$ باشد : $a_l = 1.386 - 0.42 = 0.966$ cm	**گام هشتم)** محاسبه افت ناشی از بار زنده $a_l = a_{d+1} - a_d$ تذکر: گام‌های بعد همانند قسمت الف می‌باشند.	

افت ۱) لنگر خمشی ترک خوردگی M_{cr} برای مقاطع مستطیل شکل

مراجع : بند ۱۴-۲-۲-۲ از آیین نامه بتن ایران

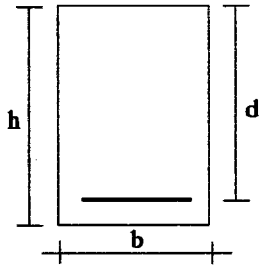
$$K_{cr} = \frac{f_r}{10}.\frac{h^2}{6}$$

h بر حسب cm و k_{cr} بر حسب KN می‌باشد.

$$K_{cr} = \frac{0.6\sqrt{f_c}}{10}.\frac{h^2}{6} = \frac{\sqrt{f_c}.h^2}{100}, KN$$

$$M_{cr} = K_{cr}.\frac{b}{100}$$

b بر حسب cm و M_{cr} بر حسب KN.m می‌باشد.



H cm	K_{cr}		
	f_c , Mpa		
	۲۰	۲۵	۳۰
۱۰	۴/۴۷	۵/۰۰	۵/۴۸
۱۲/۵	۶/۹۹	۷/۸۱	۸/۵۶
۱۵	۱۹/۰۶	۲۵۳۱۱	۱۲/۳۲
۱۷/۵	۱۳/۷۰	۱۵/۳۱	۱۶/۷۷
۲۰	۱۷/۸۹	۲۰/۰۰	۲۱/۹۱
۲۲/۵	۲۲/۶۴	۲۵/۳۱	۲۷/۷۳
۲۵	۲۷/۹۵	۳۱/۲۵	۳۴/۲۳
۲۷/۵	۳۳/۸۲	۳۷/۸۱	۴۱/۴۲
۳۰	۴۰/۲۵	۴۵/۰۰	۴۹/۳۰
۳۲/۵	۴۷/۲۴	۵۲/۸۱	۵۷/۸۵
۳۵	۵۴/۷۸	۶۱/۲۵	۶۷/۱۰
۳۷/۵	۶۲/۸۹	۷۰/۳۱	۷۷/۰۲
۴۰	۷۱/۵۵	۸۰/۰۰	۸۷/۶۴
۴۲/۵	۸۰/۷۸	۳۱،۹۰	۹۸/۹۳
۴۵	۹۰/۵۶	۱۰۱/۲۵	۱۱۰/۹۱
۴۷/۵	۱۰۰/۹۰	۱۱۲/۸۱	۱۲۳/۵۸
۵۰	۱۱/۸۰	۱۲۵/۰۰	۱۳۶/۹۳
۵۲/۵	۱۲۳/۲۶	۱۳۷/۸۱	۱۵۰/۹۷
۵۵	۱۳۵/۲۸	۱۵۱/۲۵	۱۶۵/۶۹
۵۷/۵	۱۴۷/۸۶	۱۶۵/۳۱	۱۸۱/۰۹
۶۰	۱۶۱/۰۰	۱۸۰/۰۰	۱۹۷/۱۸
۶۲/۵	۱۱۴/۶۹	۱۹۵/۳۱	۲۱۳/۹۵
۶۵	۱۸۸/۹۵	۲۱۱/۲۵	۲۳۱/۴۱
۶۷/۵	۲۰۳/۷۶	۲۲۷/۸۱	۲۴۹/۵۶

H cm	K_{cr}		
	f_c , Mpa		
	۲۰	۲۵	۳۰
۷۰	۲۱۹/۱۳	۲۴۵/۰۰	۲۶۸/۳۸
۷۲/۵	۲۳۵/۰۷	۲۶۲/۸۱	۲۸۷/۹۰
۷۵	۲۵۱/۵۶	۲۸۱/۲۵	۳۰۸/۰۹
۷۷/۵	۲۶۸/۶۱	۳۰۰/۳۱	۳۲۸/۹۸
۸۰	۲۸۶/۲۲	۳۲۰/۰۰	۳۵۰/۵۴
۸۲/۵	۳۰۴/۳۸	۳۴۰/۳۱	۳۷۲/۷۹
۸۵	۳۲۳/۱۱	۳۶۱/۲۵	۳۹۵/۷۳
۸۷/۵	۳۴۲/۴۰	۳۸۲/۸۱	۴۱۹/۳۵
۹۰	۳۶۲/۲۴	۴۰۵/۰۰	۴۴۳/۶۶
۹۲/۵	۳۸۲/۶۵	۴۲۷/۸۱	۴۶۸/۶۵
۹۵	۴۰۳/۶۱	۴۵۱/۲۵	۴۹۴/۳۲
۹۷/۵	۴۲۵/۱۳	۴۷۵/۳۱	۵۲۰/۶۸
۱۰۰	۴۴۷/۲۱	۸۰۰/۰۰	۵۴۷/۷۲
۱۰۲/۵	۴۶۹/۸۵	۵۲۵/۳۱	۵۷۵/۴۵
۱۰۵	۴۹۳/۰۵	۵۵۱/۲۵	۶۰۳/۸۶
۱۰۷/۵	۵۱۶/۸۱	۵۷۷/۸۱	۶۳۲/۹۶
۱۱۰	۵۴۱/۱۳	۶۰۵/۰۰	۶۶۲/۷۴
۱۱۲/۵	۵۶۶/۰۰	۶۳۲/۸۱	۶۹۳/۲۱
۱۱۵	۵۹۱/۴۴	۶۶۱/۲۵	۷۲۴/۳۶
۱۱۷/۵	۶۱۷/۴۳	۶۹۰/۳۱	۷۵۶/۲۰
۱۲۰	۶۴۳/۹۹	۷۲۰/۰۰	۷۸۸/۷۲

افت ۲) ممان اینرسی مقطع ترک‌خورده I_{cr} برای مقاطع مستطیل شکل و دارای آرماتور کششی

مراجع : بخش ۱۰-۲ از آیین نامه بتن ایران

$$I_{cr} = K_{il}\, d\, b^3$$

$$K_{il} = \frac{(c/d)^3}{3} + \rho.n\left[1 - 2c/d + (c/d)^2\right]$$

ρ	K_{il}				
	$n = E_s/E_c$				
	۶	۷	۸	۹	۱۰
۰/۰۰۲	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱۴	۰/۰۱۵
۰/۰۰۳	۰/۰۱۴	۰/۰۱۶	۰/۰۱۸	۰/۰۲۰	۰/۰۲۲
۰/۰۰۴	۰/۰۱۸	۰/۰۲۱	۰/۰۲۳	۰/۲۵۰	۰/۰۲۸
۰/۰۰۵	۰/۰۲۲	۰/۰۲۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۰	۰/۰۳۳
۰/۰۰۶	۰/۰۲۵	۰/۰۲۹	۰/۰۳۲	۰/۰۳۵	۰/۰۳۸
۰/۰۰۷	۰/۰۲۹	۰/۰۳۳	۰/۰۳۶	۰/۰۴۰	۰/۰۴۳
۰/۰۰۸	۰/۰۳۲	۰/۰۳۶	۰/۰۴۰	۰/۰۴۴	۰/۰۴۸
۰/۰۰۹	۰/۰۳۵	۰/۰۴۰	۰/۰۴۴	۰/۰۴۸	۰/۰۵۲
۰/۰۱۰	۰/۰۳۸	۰/۰۴۳	۰/۰۴۸	۰/۰۵۲	۰/۰۵۷
۰/۰۱۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۷	۰/۰۵۱	۰/۰۵۶	۰/۰۶۱
۰/۰۱۲	۰/۰۴۴	۰/۰۵۰	۰/۰۵۵	۰/۰۶۰	۰/۰۶۴
۰/۰۱۳	۰/۰۴۷	۰/۰۵۳	۰/۰۵۸	۰/۰۶۳	۰/۰۶۸
۰/۰۱۴	۰/۰۵۰	۰/۰۵۶	۰/۰۶۱	۰/۰۶۷	۰/۰۷۲
۰/۰۱۵	۰/۰۵۲	۰/۰۵۹	۰/۰۶۴	۰/۰۷۰	۰/۰۷۵
۰/۰۱۶	۰/۰۵۵	۰/۰۶۱	۰/۰۶۷	۰/۰۷۳	۰/۰۷۸
۰/۰۱۷	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۰	۰/۰۷۶	۰/۰۸۲
۰/۰۱۸	۰/۰۶۰	۰/۰۶۷	۰/۰۷۳	۰/۰۷۹	۰/۰۸۵
۰/۰۱۹	۰/۰۶۲	۰/۰۶۹	۰/۰۷۶	۰/۰۸۲	۰/۰۸۸
۰/۰۲۰	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۸	۰/۰۸۵	۰/۰۹۱
۰/۰۲۱	۰/۰۶۷	۰/۰۷۴	۰/۰۸۱	۰/۰۸۸	۰/۰۹۴
۰/۰۲۲	۰/۰۶۹	۰/۰۷۶	۰/۰۸۴	۰/۰۹۰	۰/۰۹۶
۰/۰۲۳	۰/۰۷۱	۰/۰۷۹	۰/۰۸۶	۰/۰۹۳	۰/۰۹۹
۰/۰۲۴	۰/۰۷۳	۰/۰۸۱	۰/۰۸۸	۰/۰۹۵	۰/۱۰۲
۰/۰۲۵	۰/۰۷۵	۰/۰۸۳	۰/۰۹۱	۰/۰۹۸	۰/۱۰۴

ρ	K_{il} $n = E_s/E_c$				
	۶	۷	۸	۹	۱۰
۰/۰۲۶	۰/۰۷۷	۰/۰۸۵	۰/۰۹۳	۰/۱۰۰	۰/۱۰۷
۰/۰۲۷	۰/۰۷۹	۰/۰۸۸	۰/۰۹۵	۰/۱۰۲	۰/۱۰۹
۰/۰۲۸	۰/۰۸۱	۰/۰۹۰	۰/۰۹۷	۰/۱۰۵	۰/۱۱۱
۰/۰۲۹	۰/۰۸۳	۰/۰۹۲	۰/۱۰۰	۰/۱۰۷	۰/۱۱۴
۰/۰۳۰	۰/۰۸۵	۰/۰۹۴	۰/۱۰۲	۰/۱۰۹	۰/۱۱۶
۰/۰۳۱	۰/۰۸۷	۰/۰۹۶	۰/۱۰۴	۰/۱۱۱	۰/۱۱۸
۰/۰۳۲	۰/۰۸۸	۰/۰۹۷	۰/۱۰۶	۰/۱۱۳	۰/۱۲۰
۰/۰۳۳	۰/۰۹۰	۰/۰۹۹	۰/۱۰۸	۰/۱۱۵	۰/۱۲۲
۰/۰۳۴	۰/۰۹۲	۰/۱۰۱	۰/۱۱۰	۰/۱۱۷	۰/۱۲۴
۰/۰۳۵	۰/۰۹۴	۰/۱۰۳	۰/۱۱۱	۰/۱۱۹	۰/۱۲۶
۰/۰۳۶	۰/۰۹۵	۰/۱۰۵	۰/۱۱۳	۰/۱۲۱	۰/۱۲۸
۰/۰۳۷	۰/۰۹۷	۰/۱۰۶	۰/۱۱۵	۰/۱۲۳	۰/۱۳۰
۰/۰۳۸	۰/۰۹۸	۰/۱۰۸	۰/۱۱۷	۰/۱۲۵	۰/۱۳۲
۰/۰۳۹	۰/۱۰۰	۰/۱۱۰	۰/۱۱۹	۰/۱۲۶	۰/۱۳۴
۰/۰۴۰	۰/۱۰۲	۰/۱۱۱	۰/۱۲۰	۰/۱۲۸	۰/۱۳۶
۰/۰۴۱	۰/۱۰۳	۰/۱۱۳	۰/۱۲۲	۰/۱۳۰	۰/۱۳۷
۰/۰۴۲	۰/۱۰۵	۰/۱۱۵	۰/۱۲۳	۰/۱۳۲	۰/۱۳۹
۰/۰۴۳	۰/۱۰۶	۰/۱۱۶	۰/۱۲۵	۰/۱۳۳	۰/۱۴۱
۰/۰۴۴	۰/۱۰۸	۰/۱۱۸	۰/۱۲۷	۰/۱۳۵	۰/۱۴۲
۰/۰۴۵	۰/۱۰۹	۰/۱۱۹	۰/۱۲۸	۰/۱۳۶	۰/۱۴۴

افت ۳-۱) ممان اینرسی مقطع ترک‌خورده I_{cr} برای مقاطع مستطیل شکل و دارای آرماتور کششی و فشاری، با مقاطع T شکل، در حالت $0.1 \le \beta_c \le 0.9$

مراجع : بخش ۱۰-۳ از آیین نامه بتن ایران

$$I_{cr} = K_{i1}\, b_w .\, b^3$$

$$K_{i2} = \left[\frac{(c/d)^3}{3} + \rho.n\left\{1 - 2c/d + (c/d)^2\right\} + \rho.n\beta_c\left\{(c/d)^2 - 2c/d\,\frac{d'}{d} + (\frac{d'}{d})^2\right\}\right]$$

$\beta_c = (\frac{b}{b_w} - 1)h_f /(d.\rho_w.n)$ برای **مقاطع T** شکل

$\beta_c = (n-1)\rho'/(.\rho.n)$ برای مقاطع مستطیل شکل

β_c	d'/d و یا hf / 2d	K_{j2} (برای مقاطع T شکل $\rho_w.n$ / $\rho.n$)														
		۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۳۰
۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۹	۰/۰۵۸	۰/۰۶۶	۰/۰۷۴	۰/۰۸۱	۰/۰۸۸	۰/۰۹۵	۰/۱۰۱	۰/۱۰۷	۰/۱۱۲	۰/۱۱۸	۰/۱۲۲
	۰/۱۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۵	۰/۰۷۳	۰/۰۸۰	۰/۰۸۷	۰/۰۹۳	۰/۰۹۹	۰/۱۰۵	۰/۱۱۱	۰/۱۱۶	۰/۱۲۱
	۰/۲۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۵	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۶	۰/۰۹۲	۰/۰۹۸	۰/۱۰۴	۰/۱۰۹	۰/۱۱۴	۰/۱۱۹
	۰/۳۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۵	۰/۰۹۱	۰/۰۹۷	۰/۱۰۳	۰/۱۰۸	۰/۱۱۳	۰/۱۱۷
	۰/۴۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۸	۰/۰۸۵	۰/۰۹۱	۰/۰۹۶	۰/۱۰۲	۰/۱۰۷	۰/۱۱۲	۰/۱۱۶
۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۹	۰/۰۵۹	۰/۰۶۷	۰/۰۷۶	۰/۰۸۴	۰/۰۹۱	۰/۰۹۸	۰/۱۰۵	۰/۱۱۲	۰/۱۱۸	۰/۱۲۴	۰/۱۳۰
	۰/۱۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۹	۰/۰۵۸	۰/۰۶۶	۰/۰۷۴	۰/۰۸۲	۰/۰۸۹	۰/۰۹۶	۰/۱۰۲	۰/۱۰۹	۰/۱۱۵	۰/۱۲۱	۰/۱۲۶
	۰/۲۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۵	۰/۰۷۳	۰/۰۸۰	۰/۰۸۷	۰/۰۹۳	۰/۱۰۰	۰/۱۰۶	۰/۱۱۱	۰/۱۱۷	۰/۱۲۲
	۰/۳۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۵	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۶	۰/۰۹۲	۰/۰۹۸	۰/۱۰۳	۰/۱۰۹	۰/۱۱۴	۰/۱۱۹
	۰/۴۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۵	۰/۰۹۱	۰/۰۹۷	۰/۱۰۲	۰/۱۰۷	۰/۱۱۲	۰/۱۱۷
۰/۳	۰/۰۲	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۴۰	۰/۰۵۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۹	۰/۰۷۸	۰/۰۸۶	۰/۰۹۴	۰/۱۰۲	۰/۱۰۹	۰/۱۱۶	۰/۱۲۳	۰/۱۳۰	۰/۱۳۷
	۰/۱۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۹	۰/۰۵۸	۰/۰۶۷	۰/۰۷۵	۰/۰۸۳	۰/۰۹۱	۰/۰۹۸	۰/۱۰۵	۰/۱۱۲	۰/۱۱۸	۰/۱۲۵	۰/۱۳۱
	۰/۲۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۶	۰/۰۷۳	۰/۰۸۱	۰/۰۸۸	۰/۰۹۵	۰/۱۰۱	۰/۱۰۷	۰/۱۱۳	۰/۱۱۹	۰/۱۲۵
	۰/۳۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۵	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۶	۰/۰۹۲	۰/۰۹۸	۰/۱۰۴	۰/۱۱۰	۰/۱۱۵	۰/۱۲۰
	۰/۴۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۵	۰/۰۹۱	۰/۰۹۷	۰/۱۰۲	۰/۱۰۷	۰/۱۱۲	۰/۱۱۷
۰/۴	۰/۰۲	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۴۰	۰/۰۵۱	۰/۰۶۱	۰/۰۷۰	۰/۰۷۹	۰/۰۸۸	۰/۰۹۷	۰/۱۰۵	۰/۱۱۳	۰/۱۲۱	۰/۱۲۸	۰/۱۳۶	۰/۱۴۳
	۰/۱۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۹	۰/۰۵۹	۰/۰۶۸	۰/۰۷۶	۰/۰۸۵	۰/۰۹۳	۰/۱۰۰	۰/۱۰۸	۰/۱۱۵	۰/۱۲۲	۰/۱۲۹	۰/۱۳۵
	۰/۲۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۶	۰/۰۷۴	۰/۰۸۱	۰/۰۸۹	۰/۰۹۶	۰/۱۰۲	۰/۱۰۹	۰/۱۱۵	۰/۱۲۱	۰/۱۲۷
	۰/۳۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۵	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۶	۰/۰۹۳	۰/۰۹۹	۰/۱۰۵	۰/۱۱۱	۰/۱۱۶	۰/۱۲۱
	۰/۴۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۵	۰/۰۹۱	۰/۰۹۷	۰/۱۰۲	۰/۱۰۸	۰/۱۱۳	۰/۱۱۸
۰/۵	۰/۰۲	۰/۰۱۶	۰/۰۲۹	۰/۰۴۰	۰/۰۵۱	۰/۰۶۲	۰/۰۷۲	۰/۰۸۱	۰/۰۹۰	۰/۰۹۹	۰/۱۰۸	۰/۱۱۶	۰/۱۲۵	۰/۱۳۳	۰/۱۴۱	۰/۱۴۹
	۰/۱۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۵۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۹	۰/۰۷۸	۰/۰۸۶	۰/۰۹۴	۰/۱۰۲	۰/۱۱۰	۰/۱۱۸	۰/۱۲۵	۰/۱۳۲	۰/۱۳۹
	۰/۲۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۸	۰/۰۵۸	۰/۰۶۶	۰/۰۷۴	۰/۰۸۲	۰/۰۹۰	۰/۰۹۷	۰/۱۰۴	۰/۱۱۰	۰/۱۱۷	۰/۱۲۳	۰/۱۳۰
	۰/۳۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۵	۰/۰۷۲	۰/۰۸۰	۰/۰۸۷	۰/۰۹۳	۰/۰۹۹	۰/۱۰۵	۰/۱۱۱	۰/۱۱۷	۰/۱۲۳
	۰/۴۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۵	۰/۰۹۱	۰/۰۹۷	۰/۱۰۳	۰/۱۰۸	۰/۱۱۳	۰/۱۱۸

K_{12}

β_c	d'/d و یا hf / 2d	ρ.n (ρ_w.n شکل T برای مقاطع)														
		۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۳۰
۰/۶	۰/۰۲	۰/۱۰۶	۰/۱۰۲۹	۰/۱۰۴۱	۰/۱۰۵۲	۰/۱۰۶۳	۰/۱۰۷۳	۰/۱۰۸۳	۰/۱۰۹۲	۰/۱۰۱	۰/۱۱۱	۰/۱۲۰	۰/۱۲۸	۰/۱۳۷	۰/۱۴۶	۰/۱۵۴
	۰/۱۰	۰/۱۰۱۵	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۴۰	۰/۱۰۵۰	۰/۱۰۶۰	۰/۱۰۶۹	۰/۱۰۷۹	۰/۱۰۸۷	۰/۱۰۹۶	۰/۱۱۰۴	۰/۱۱۱۲	۰/۱۲۰	۰/۱۲۸	۰/۱۳۶	۰/۱۴۳
	۰/۲۰	۰/۱۰۱۵	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۳۹	۰/۱۰۴۹	۰/۱۰۵۸	۰/۱۰۶۷	۰/۱۰۷۵	۰/۱۰۸۳	۰/۱۰۹۰	۰/۱۰۹۸	۰/۱۱۰۵	۰/۱۱۱۲	۰/۱۱۱۹	۰/۱۲۵	۰/۱۳۲
	۰/۳۰	۰/۱۰۱۶	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۳۸	۰/۱۰۴۸	۰/۱۰۵۷	۰/۱۰۶۵	۰/۱۰۷۳	۰/۱۰۸۰	۰/۱۰۸۷	۰/۱۰۹۳	۰/۱۱۰۰	۰/۱۱۰۶	۰/۱۱۱۲	۰/۱۱۱۸	۰/۱۱۲۴
	۰/۴۰	۰/۱۰۱۶	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۳۹	۰/۱۰۴۸	۰/۱۰۵۷	۰/۱۰۶۴	۰/۱۰۷۲	۰/۱۰۷۹	۰/۱۰۸۵	۰/۱۰۹۱	۰/۱۰۹۷	۰/۱۱۰۳	۰/۱۱۰۸	۰/۱۱۱۳	۰/۱۱۱۸
۰/۷	۰/۰۲	۰/۱۰۱۶	۰/۱۰۲۹	۰/۱۰۴۱	۰/۱۰۵۳	۰/۱۰۶۳	۰/۱۰۷۴	۰/۱۰۸۴	۰/۱۰۹۴	۰/۱۱۰۴	۰/۱۱۱۳	۰/۱۱۲۳	۰/۱۱۳۲	۰/۱۱۴۱	۰/۱۱۵۰	۰/۱۱۵۶۹
	۰/۱۰	۰/۱۰۱۵	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۴۰	۰/۱۰۵۰	۰/۱۰۶۱	۰/۱۰۷۰	۰/۱۰۸۰	۰/۱۰۸۹	۰/۱۰۹۷	۰/۱۱۰۶	۰/۱۱۱۴	۰/۱۱۲۳	۰/۱۱۳۱	۰/۱۱۳۹	۰/۱۱۴۷
	۰/۲۰	۰/۱۰۱۵	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۳۹	۰/۱۰۴۹	۰/۱۰۵۸	۰/۱۰۶۷	۰/۱۰۷۵	۰/۱۰۸۳	۰/۱۰۹۱	۰/۱۰۹۹	۰/۱۱۰۶	۰/۱۱۱۳	۰/۱۱۲۰	۰/۱۱۲۷	۰/۱۱۳۴
	۰/۳۰	۰/۱۰۱۶	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۳۸	۰/۱۰۴۸	۰/۱۰۵۷	۰/۱۰۶۵	۰/۱۰۷۳	۰/۱۰۸۰	۰/۱۰۸۷	۰/۱۰۹۴	۰/۱۱۰۰	۰/۱۱۰۷	۰/۱۱۱۳	۰/۱۱۱۹	۰/۱۱۲۵
	۰/۴۰	۰/۱۰۱۶	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۳۹	۰/۱۰۴۸	۰/۱۰۵۷	۰/۱۰۶۴	۰/۱۰۷۲	۰/۱۰۷۹	۰/۱۰۸۵	۰/۱۰۹۱	۰/۱۰۹۷	۰/۱۱۰۳	۰/۱۱۰۸	۰/۱۱۱۴	۰/۱۱۱۹
۰/۸	۰/۰۲	۰/۱۰۱۶	۰/۱۰۲۹	۰/۱۰۴۱	۰/۱۰۵۳	۰/۱۰۶۴	۰/۱۰۷۵	۰/۱۰۸۶	۰/۱۰۹۶	۰/۱۱۰۶	۰/۱۱۱۶	۰/۱۱۲۵	۰/۱۱۳۵	۰/۱۱۴۵	۰/۱۱۵۴	۰/۱۱۶۴
	۰/۱۰	۰/۱۰۱۵	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۴۰	۰/۱۰۵۱	۰/۱۰۶۱	۰/۱۰۷۱	۰/۱۰۸۰	۰/۱۰۹۰	۰/۱۰۹۹	۰/۱۱۰۸	۰/۱۱۱۶	۰/۱۱۲۵	۰/۱۱۳۳	۰/۱۱۴۲	۰/۱۱۵۰
	۰/۲۰	۰/۱۰۱۵	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۳۹	۰/۱۰۴۹	۰/۱۰۵۸	۰/۱۰۶۷	۰/۱۰۷۶	۰/۱۰۸۴	۰/۱۰۹۲	۰/۱۱۰۰	۰/۱۱۰۷	۰/۱۱۱۵	۰/۱۱۲۲	۰/۱۱۲۹	۰/۱۱۳۶
	۰/۳۰	۰/۱۰۱۶	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۳۸	۰/۱۰۴۸	۰/۱۰۵۷	۰/۱۰۶۵	۰/۱۰۷۳	۰/۱۰۸۰	۰/۱۰۸۷	۰/۱۰۹۴	۰/۱۱۰۱	۰/۱۱۰۷	۰/۱۱۱۴	۰/۱۱۲۰	۰/۱۱۲۶
	۰/۴۰	۰/۱۰۱۶	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۳۹	۰/۱۰۴۸	۰/۱۰۵۷	۰/۱۰۶۴	۰/۱۰۷۲	۰/۱۰۷۹	۰/۱۰۸۵	۰/۱۰۹۱	۰/۱۰۹۷	۰/۱۱۰۳	۰/۱۱۰۸	۰/۱۱۱۴	۰/۱۱۱۹
۰/۹	۰/۰۲	۰/۱۰۱۶	۰/۱۰۲۹	۰/۱۰۴۲	۰/۱۰۵۴	۰/۱۰۶۵	۰/۱۰۷۶	۰/۱۰۸۷	۰/۱۰۹۸	۰/۱۱۰۸	۰/۱۱۱۸	۰/۱۱۲۸	۰/۱۱۳۹	۰/۱۱۴۹	۰/۱۱۵۸	۰/۱۱۶۸
	۰/۱۰	۰/۱۰۱۶	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۴۰	۰/۱۰۵۱	۰/۱۰۶۲	۰/۱۰۷۲	۰/۱۰۸۱	۰/۱۰۹۱	۰/۱۱۰۰	۰/۱۱۰۹	۰/۱۱۱۸	۰/۱۱۲۷	۰/۱۱۳۶	۰/۱۱۴۵	۰/۱۱۵۳
	۰/۲۰	۰/۱۰۱۵	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۳۹	۰/۱۰۴۹	۰/۱۰۵۸	۰/۱۰۶۷	۰/۱۰۷۶	۰/۱۰۸۴	۰/۱۰۹۳	۰/۱۱۰۱	۰/۱۱۰۸	۰/۱۱۱۶	۰/۱۱۲۳	۰/۱۱۳۱	۰/۱۱۳۸
	۰/۳۰	۰/۱۰۱۶	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۳۸	۰/۱۰۴۸	۰/۱۰۵۷	۰/۱۰۶۵	۰/۱۰۷۳	۰/۱۰۸۰	۰/۱۰۸۸	۰/۱۰۹۵	۰/۱۱۰۱	۰/۱۱۰۸	۰/۱۱۱۴	۰/۱۱۲۱	۰/۱۱۲۷
	۰/۴۰	۰/۱۰۱۶	۰/۱۰۲۸	۰/۱۰۳۹	۰/۱۰۴۸	۰/۱۰۵۷	۰/۱۰۶۴	۰/۱۰۷۲	۰/۱۰۷۹۰	۰/۱۰۸۵	۰/۱۰۹۱	۰/۱۰۹۷	۰/۱۱۰۳	۰/۱۱۰۹	۰/۱۱۱۴	۰/۱۱۱۹

افت ۳-۲) ممان اینرسی مقطع ترک‌خورده I_{cr} برای مقاطع مستطیل شکل و دارای آرماتور کششی و فشاری، با مقاطع T شکل، در حالت $1 \le \beta_c \le 5$

مراجع : بخش ۱۰-۳ از آیین نامه بتن ایران

$$I_{cr} = K_{i2}\, b_w .\, b^3$$

$$K_{i2} = \left[\frac{(c/d)^3}{3} + \rho.n\left\{1 - 2c/d + (c/d)^2\right\} + \rho.n\beta_c\left\{(c/d)^2 - 2c/d\,\frac{d'}{d} + (\frac{d'}{d})^2\right\}\right]$$

$\beta_c = (\frac{b}{b_w} - 1)h_f /(d.\rho_w.n)$ برای مقاطع T شکل

$\beta_c = (n-1)\rho'/(.\rho.n)$ برای مقاطع مستطیل شکل

β_c	d'/d و یا hf / 2d	K_{i2}														
		$\rho.n$ ($\rho_w.n$ برای مقاطع T شکل)														
		۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۳۰
۱	۰/۰۲	۰/۰۱۶	۰/۰۲۹	۰/۰۴۲	۰/۰۵۴	۰/۰۶۶	۰/۰۷۷	۰/۰۸۸	۰/۰۹۹	۰/۱۱۰	۰/۱۲۱	۰/۱۳۱	۰/۱۴۲	۰/۱۵۲	۰/۱۶۲	۰/۱۷۲
	۰/۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۴۰	۰/۰۵۱	۰/۰۶۲	۰/۰۷۲	۰/۰۸۲	۰/۰۹۲	۰/۱۰۱	۰/۱۱۱	۰/۱۲۰	۰/۱۲۹	۰/۱۳۸	۰/۱۴۷۸	۰/۱۵۶
	۰/۲۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۹	۰/۰۵۹	۰/۰۶۸	۰/۰۷۶	۰/۰۸۵	۰/۰۹۳	۰/۱۰۱	۰/۱۰۹	۰/۱۱۷	۰/۱۲۵	۰/۱۳۲	۰/۱۴۰
	۰/۳۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۵	۰/۰۷۳	۰/۰۸۱	۰/۰۸۸	۰/۰۹۵	۰/۱۰۲	۰/۱۰۸	۰/۱۱۵	۰/۱۲۱	۰/۱۲۸
	۰/۴۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۹	۰/۰۳۹	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۵	۰/۰۹۱	۰/۰۹۷	۰/۱۰۳	۰/۱۰۹	۰/۱۱۴	۰/۱۲۰
۱/۵	۰/۰۲	۰/۰۱۶	۰/۰۳۰	۰/۰۴۴	۰/۰۵۷	۰/۰۶۹	۰/۰۸۲	۰/۰۹۴	۰/۱۰۶	۰/۱۱۸	۰/۱۳۰	۰/۱۴۲	۰/۱۵۴	۰/۱۶۶	۰/۱۷۸	۰/۱۹۰
	۰/۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۹	۰/۰۴۱	۰/۰۵۳	۰/۰۶۴	۰/۰۷۵	۰/۰۸۶	۰/۰۹۶	۰/۱۴۰۷	۰/۱۱۷	۰/۱۲۸	۰/۱۳۸	۰/۱۴۸	۰/۱۵۹	۰/۱۶۹
	۰/۲۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۹	۰/۰۵۹	۰/۰۶۹	۰/۰۷۸	۰/۰۸۷	۰/۰۹۶	۰/۱۰۵	۰/۱۱۴	۰/۱۲۲	۰/۱۳۱	۰/۱۳۹	۰/۱۴۷
	۰/۳۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۵	۰/۰۷۳	۰/۰۸۴	۰/۰۸۹	۰/۰۹۰	۰/۱۰۳۶	۰/۱۱۱	۰/۱۱۸	۰/۱۲۴	۰/۱۳۱
	۰/۴۰	۰/۰۱۷	۰/۰۲۹	۰/۰۳۹	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۵	۰/۰۹۲	۰/۰۹۸	۰/۱۰۴	۰/۱۱۰	۰/۱۱۵	۰/۱۲۱
۲	۰/۰۲	۰/۰۱۶	۰/۰۳۱	۰/۰۴۵	۰/۰۵۹	۰/۰۷۲	۰/۰۸۵	۰/۰۹۹	۰/۱۱۲	۰/۱۲۵	۰/۱۳۸	۰/۱۵۱	۰/۱۶۴	۰/۱۷۷	۰/۱۹۰	۰/۲۰۳
	۰/۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۹	۰/۰۴۲	۰/۰۵۴	۰/۰۶۶	۰/۰۷۷	۰/۰۸۹	۰/۱۰۰	۰/۱۱۲	۰/۱۲۳	۰/۱۳۴	۰/۱۴۵	۰/۱۵۶	۰/۱۶۷	۰/۱۷۸
	۰/۲۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۵۰	۰/۰۶۰	۰/۰۷۰	۰/۰۸۰	۰/۰۸۹	۰/۰۹۸	۰/۱۰۸	۰/۱۱۷	۰/۱۳۶	۰/۱۳۵	۰/۱۴۴	۰/۱۵۳
	۰/۳۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۶	۰/۰۷۴	۰/۰۸۲	۰/۰۹۰	۰/۰۹۷	۰/۱۰۵	۰/۱۱۲	۰/۱۲۰	۰/۱۲۷	۰/۱۳۴
	۰/۴۰	۰/۰۱۷	۰/۰۲۹	۰/۰۳۹	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۵	۰/۰۹۲	۰/۰۹۸	۰/۱۰۴	۰/۱۱۰	۰/۱۱۶	۰/۱۲۲
۲/۵	۰/۰۲	۰/۰۱۶	۰/۰۳۱	۰/۰۴۶	۰/۰۶۰	۰/۰۷۴	۰/۰۸۸	۰/۱۰۲	۰/۱۱۶	۰/۱۳۰	۰/۱۴۴	۰/۱۵۸	۰/۱۷۲	۰/۱۸۶	۰/۱۹۹	۰/۲۱۳
	۰/۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۹	۰/۰۴۲	۰/۰۵۵	۰/۰۶۷	۰/۰۷۹	۰/۰۹۱	۰/۱۰۳	۰/۱۱۵	۰/۱۲۷	۰/۱۳۹	۰/۱۵۱	۰/۱۶۲	۰/۱۷۴	۰/۱۸۶
	۰/۲۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۵۰	۰/۰۶۱	۰/۰۷۱	۰/۰۸۱	۰/۰۹۱	۰/۱۰۰	۰/۱۱۰	۰/۱۲۰	۰/۱۲۹	۰/۱۳۹	۰/۱۴۸	۰/۱۵۸
	۰/۳۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۶	۰/۰۷۴	۰/۰۸۲	۰/۰۹۰	۰/۰۹۸	۰/۱۰۶	۰/۱۱۴	۰/۱۲۱	۰/۱۲۹	۰/۱۳۶
	۰/۴۰	۰/۰۱۷	۰/۰۲۹	۰/۰۴۰	۰/۰۴۹	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۵	۰/۰۹۲	۰/۰۹۸	۰/۱۰۴	۰/۱۱۱	۰/۱۱۷	۰/۱۲۳
۳	۰/۰۲	۰/۰۱۷	۰/۰۳۲	۰/۰۴۷	۰/۰۶۲	۰/۰۷۳	۰/۰۹۱	۰/۱۰۶	۰/۱۱۶	۰/۱۳۵	۰/۱۴۹	۰/۱۶۴	۰/۱۷۸۸	۰/۱۹۳	۰/۲۰۷	۰/۲۲۱
	۰/۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۹	۰/۰۴۳	۰/۰۵۶	۰/۰۶۸	۰/۰۸۱	۰/۰۹۳	۰/۱۰۳	۰/۱۱۸	۰/۱۳۰	۰/۱۴۳	۰/۱۵۵	۰/۱۶۷	۰/۱۸۰	۰/۱۹۲
	۰/۲۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۵۰	۰/۰۶۱	۰/۰۷۱	۰/۰۸۲	۰/۰۹۱	۰/۱۰۲	۰/۱۱۲	۰/۱۲۲	۰/۱۳۲	۰/۱۴۲	۰/۱۵۱	۰/۱۶۱
	۰/۳۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۶	۰/۰۷۴	۰/۰۸۲	۰/۰۹۱	۰/۰۹۹	۰/۱۰۷	۰/۱۱۵	۰/۱۲۳	۰/۱۳۱	۰/۱۳۸
	۰/۴۰	۰/۰۱۸	۰/۰۳۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۹	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۵	۰/۰۹۲۱	۰/۰۹۸	۰/۱۰۵	۰/۱۱۱	۰/۱۱۷	۰/۱۲۳

β_c	d'/d و یا hf / 2d	K_{i2} (برای مقاطع T شکل $\rho_w.n$) $\rho.n$														
		۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۳۰
۳/۵	۰/۰۲	۰/۰۱۷	۰/۰۳۲	۰/۰۴۸	۰/۰۶۳	۰/۰۷۸	۰/۰۹۳	۰/۱۰۸	۰/۱۲۰	۰/۱۳۸	۰/۱۵۳	۰/۱۶۸	۰/۱۸۳	۰/۱۹۸	۰/۲۱۳	۰/۲۲۸
	۰/۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۳۰	۰/۰۴۳	۰/۰۵۶	۰/۰۶۹	۰/۰۸۲	۰/۰۹۵	۰/۱۰۶	۰/۱۲۱	۰/۱۳۳	۰/۱۴۶	۰/۱۵۹	۰/۱۷۱	۰/۱۸۴	۰/۱۹۷
	۰/۲۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹	۰/۰۵۱	۰/۰۶۱	۰/۰۷۲	۰/۰۸۲	۰/۰۹۲	۰/۱۰۳	۰/۱۱۳	۰/۱۲۴	۰/۱۳۴	۰/۱۴۴	۰/۱۵۴	۰/۱۶۴
	۰/۳۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۶	۰/۰۷۵	۰/۰۸۳	۰/۰۹۱	۰/۱۰۰	۰/۱۰۸	۰/۱۱۶	۰/۱۲۴	۰/۱۳۲	۰/۱۴۰
	۰/۴۰	۰/۰۱۸	۰/۰۳۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۹	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۵	۰/۰۹۲	۰/۰۹۹	۰/۱۰۵	۰/۱۱۱	۰/۱۱۸	۰/۱۲۴
۴	۰/۰۲	۰/۰۱۷	۰/۰۳۳	۰/۰۴۸	۰/۰۶۴	۰/۰۷۹	۰/۰۹۵	۰/۱۱۰	۰/۱۲۳	۰/۱۴۱	۰/۱۵۷	۰/۱۷۲	۰/۱۱۷	۰/۲۰۳	۰/۲۱۸	۰/۲۳۴
	۰/۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۳۰	۰/۰۴۳	۰/۰۵۷	۰/۰۷۰	۰/۰۸۳	۰/۰۹۶	۰/۱۰۸	۰/۱۲۳	۰/۱۳۶	۰/۱۴۹	۰/۱۶۲	۰/۱۷۵	۰/۱۸۸	۰/۲۰۱
	۰/۲۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۴۰	۰/۰۵۱	۰/۰۶۲	۰/۰۷۳	۰/۰۸۳	۰/۰۹۳	۰/۱۰۴	۰/۱۱۵	۰/۱۲۵	۰/۱۳۶	۰/۱۴۶	۰/۱۵۷	۰/۱۶۷
	۰/۳۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۶	۰/۰۷۵	۰/۰۸۳	۰/۰۹۲	۰/۱۰۰	۰/۱۰۸	۰/۱۱۷	۰/۱۲۵	۰/۱۳۳	۰/۱۴۱
	۰/۴۰	۰/۰۱۸	۰/۰۳۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۹	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۶	۰/۰۹۲	۰/۰۹۹	۰/۱۰۵	۰/۱۱۲	۰/۱۱۸	۰/۱۲۴
۴/۵	۰/۰۲	۰/۰۱۷	۰/۰۳۳	۰/۰۴۹	۰/۰۶۵	۰/۰۸۱	۰/۰۹۶	۰/۱۱۲	۰/۱۲۸	۰/۱۴۴	۰/۱۵۹	۰/۱۷۵	۰/۱۹۱	۰/۲۰۷	۰/۲۲۲	۰/۲۳۸
	۰/۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۳۶۰	۰/۰۴۴	۰/۰۵۷	۰/۰۷۱	۰/۰۸۴	۰/۰۹۸	۰/۱۱۱	۰/۱۲۴	۰/۱۳۸	۰/۱۵۱	۰/۱۶۴	۰/۱۷۸	۰/۱۹۱	۰/۲۰۴
	۰/۲۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۴۰	۰/۰۵۱	۰/۰۶۲	۰/۰۷۳	۰/۰۸۴	۰/۰۹۵	۰/۱۰۵	۰/۱۱۶	۰/۱۲۷	۰/۱۳۷	۰/۱۴۸	۰/۱۵۸	۰/۱۳۹
	۰/۳۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۶	۰/۰۷۵	۰/۰۸۴	۰/۰۹۲	۰/۱۰۱	۰/۱۰۹	۰/۱۱۷	۰/۱۲۶	۰/۱۳۴	۰/۱۴۲
	۰/۴۰	۰/۰۱۸	۰/۰۳۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۹	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۶	۰/۰۹۲	۰/۰۹۹	۰/۱۰۵	۰/۱۱۲	۰/۱۱۸	۰/۱۲۴
۵	۰/۰۲	۰/۰۱۷	۰/۰۳۳	۰/۰۵۰	۰/۰۶۶	۰/۰۸۲	۰/۰۹۸	۰/۱۱۴	۰/۱۳۰	۰/۱۴۶	۰/۱۶۲	۰/۱۷۸	۰/۱۹۴	۰/۲۱۰	۰/۲۲۶	۰/۲۴۲
	۰/۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۳۰	۰/۰۴۴	۰/۰۵۸	۰/۰۷۲	۰/۰۸۵	۰/۰۹۹	۰/۱۱۲	۰/۱۲۶	۰/۱۴۰	۰/۱۵۳	۰/۱۶۷	۰/۱۸۰	۰/۱۹۴	۰/۲۰۷
	۰/۲۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۴۰	۰/۰۵۱	۰/۰۶۲	۰/۰۷۳	۰/۰۸۴	۰/۰۹۵	۰/۱۰۶	۰/۱۱۷	۰/۱۲۸	۰/۱۳۹	۰/۱۴۹	۰/۱۶۰	۰/۱۷۱
	۰/۳۰	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۶	۰/۰۷۵	۰/۰۸۴	۰/۰۹۳	۰/۱۰۱	۰/۱۱۰	۰/۱۱۸	۰/۱۲۶	۰/۱۳۵	۰/۱۴۳
	۰/۴۰	۰/۰۱۹	۰/۳۱۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۹	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۶	۰/۰۹۲	۰/۰۹۹	۰/۱۰۶	۰/۱۱۲	۰/۱۱۸	۰/۱۲۵

افت ۴) ممان اینرسی موثر I_e

مراجع : بخش ۱۴-۲-۲-۲ از آیین نامه بتن ایران

$$I_e = K_{i3} \cdot I_g$$

$$K_{i3} = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right]\frac{I_{cr}}{I_g}$$

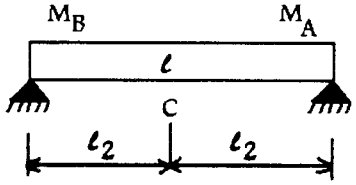
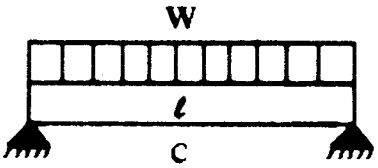
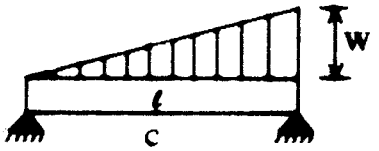
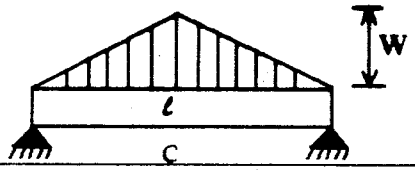
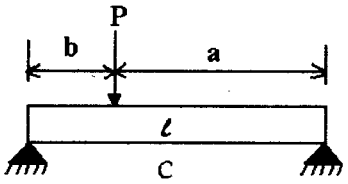
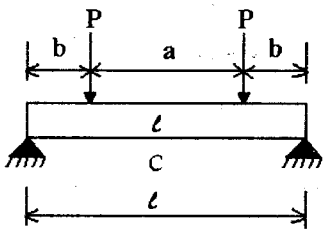
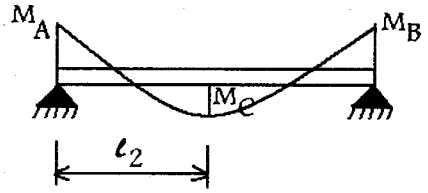
$\frac{M_{cr}}{Ma}$	K_{13} / I_{cr} / I_g																			
	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۴۰	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۷۰	۰/۸۰	۰/۹۰
۰/۰۲	۰/۰۲۰	۰/۰۴۰	۰/۰۶۰	۰/۰۸۰	۰/۱۰۰	۰/۱۵۰	۰/۲۰۰	۰/۲۵۰	۰/۳۰۰	۰/۳۵۰	۰/۴۰۰	۰/۴۵۰	۰/۵۰۰	۰/۶۰۰	۰/۷۰۰	۰/۸۰۰	۰/۹۰۰
۰/۰۴	۰/۰۲۰	۰/۰۴۰	۰/۰۶۰	۰/۰۸۰	۰/۱۰۰	۰/۱۵۰	۰/۲۰۰	۰/۲۵۰	۰/۳۰۰	۰/۳۵۰	۰/۴۰۰	۰/۴۵۰	۰/۵۰۰	۰/۶۰۰	۰/۷۰۰	۰/۸۰۰	۰/۹۰۰
۰/۰۶	۰/۰۲۰	۰/۰۴۰	۰/۰۶۰	۰/۰۸۰	۰/۱۰۰	۰/۱۵۰	۰/۲۰۰	۰/۲۵۰	۰/۳۰۰	۰/۳۵۰	۰/۴۰۰	۰/۴۵۰	۰/۵۰۰	۰/۶۰۰	۰/۷۰۰	۰/۸۰۰	۰/۹۰۰
۰/۰۸	۰/۰۲۱	۰/۰۴۰	۰/۰۶۰	۰/۰۸۰	۰/۱۰۰	۰/۱۵۰	۰/۲۰۰	۰/۲۵۰	۰/۳۰۰	۰/۳۵۰	۰/۴۰۰	۰/۴۵۰	۰/۵۰۰	۰/۶۰۰	۰/۷۰۰	۰/۸۰۰	۰/۹۰۰
۰/۱۰	۰/۰۲۱	۰/۰۴۱	۰/۰۶۱	۰/۰۸۱	۰/۱۰۱	۰/۱۵۱	۰/۲۰۱	۰/۲۵۱	۰/۳۰۱	۰/۳۵۱	۰/۴۰۱	۰/۴۵۱	۰/۵۰۱	۰/۶۰۱	۰/۷۰۱	۰/۸۰۱	۰/۹۰۰
۰/۱۲	۰/۰۲۲	۰/۰۴۲	۰/۰۶۲	۰/۰۸۲	۰/۱۰۲	۰/۱۵۱	۰/۲۰۱	۰/۲۵۱	۰/۳۰۱	۰/۳۵۱	۰/۴۰۱	۰/۴۵۱	۰/۵۰۱	۰/۶۰۱	۰/۷۰۱	۰/۸۰۱	۰/۹۰۰
۰/۱۴	۰/۰۲۳	۰/۰۴۳	۰/۰۶۳	۰/۰۸۳	۰/۱۰۲	۰/۱۵۲	۰/۲۰۲	۰/۲۵۲	۰/۳۰۲	۰/۳۵۲	۰/۴۰۲	۰/۴۵۲	۰/۵۰۱	۰/۶۰۱	۰/۷۰۱	۰/۸۰۱	۰/۹۰۰
۰/۱۶	۰/۰۲۴	۰/۰۴۴	۰/۰۶۴	۰/۰۸۴	۰/۱۰۴	۰/۱۵۳	۰/۲۰۳	۰/۲۵۳	۰/۳۰۳	۰/۳۵۳	۰/۴۰۲	۰/۴۵۲	۰/۵۰۲	۰/۶۰۲	۰/۷۰۱	۰/۸۰۱	۰/۹۰۰
۰/۱۸	۰/۰۲۶	۰/۰۴۶	۰/۰۶۵	۰/۰۸۵	۰/۱۰۵	۰/۱۵۵	۰/۲۰۵	۰/۲۵۴	۰/۳۰۴	۰/۳۵۴	۰/۴۰۳	۰/۴۵۳	۰/۵۰۳	۰/۶۰۲	۰/۷۰۲	۰/۸۰۱	۰/۹۰۱
۰/۲۰	۰/۰۲۸	۰/۰۴۸	۰/۰۶۸	۰/۰۸۷	۰/۱۰۷	۰/۱۵۷	۰/۲۰۶	۰/۲۵۶	۰/۳۰۶	۰/۳۵۵	۰/۴۰۵	۰/۴۵۴	۰/۵۰۴	۰/۶۰۳	۰/۷۰۲	۰/۸۰۲	۰/۹۰۱
۰/۲۲	۰/۰۳۰	۰/۰۵۰	۰/۰۷۰	۰/۰۹۰	۰/۱۱۰	۰/۱۵۹	۰/۲۰۹	۰/۲۵۸	۰/۳۰۷	۰/۳۵۷	۰/۴۰۶	۰/۴۵۶	۰/۵۰۵	۰/۶۰۴	۰/۷۰۳	۰/۸۰۲	۰/۹۰۱
۰/۲۴	۰/۰۳۴	۰/۰۵۳	۰/۰۷۳۶	۰/۰۹۳	۰/۱۱۲	۰/۱۶۲	۰/۲۱۱	۰/۲۶۰	۰/۳۱۰	۰/۳۵۹	۰/۴۰۸	۰/۴۵۸	۰/۵۰۷	۰/۶۰۶	۰/۷۰۴	۰/۸۰۳	۰/۹۰۱
۰/۲۶	۰/۰۳۷	۰/۰۵۷	۰/۰۷۷	۰/۰۹۶	۰/۱۱۶	۰/۱۶۵	۰/۲۱۴	۰/۲۶۳	۰/۳۱۲	۰/۳۶۱	۰/۴۱۱	۰/۴۶۰	۰/۵۰۹	۰/۶۰۷	۰/۷۰۵	۰/۸۰۴	۰/۹۰۲
۰/۲۸	۰/۰۴۲	۰/۰۶۱	۰/۰۸۴	۰/۱۰۰	۰/۱۲۰	۰/۱۶۹	۰/۲۱۸	۰/۲۶۶	۰/۳۱۵	۰/۳۶۴	۰/۴۱۳	۰/۴۶۲	۰/۵۱۱	۰/۶۰۹	۰/۷۰۷	۰/۸۰۴	۰/۹۰۲
۰/۳۰	۰/۰۴۶	۰/۰۶۶	۰/۰۸۵	۰/۱۰۵	۰/۱۲۴	۰/۱۷۳	۰/۲۲۲	۰/۲۷۰	۰/۳۱۹	۰/۳۶۸	۰/۴۱۶	۰/۴۶۵	۰/۵۱۳	۰/۶۱۱	۰/۷۰۸	۰/۸۰۵	۰/۹۰۳
۰/۳۲	۰/۰۵۲	۰/۰۷۱	۰/۰۹۱	۰/۱۱۰	۰/۱۲۹	۰/۱۷۸	۰/۲۲۶	۰/۲۷۵	۰/۳۲۳	۰/۳۷۱	۰/۴۲۰	۰/۴۶۸	۰/۵۱۶	۰/۶۱۳	۰/۷۱۰	۰/۸۰۷	۰/۹۰۳
۰/۳۴	۰/۰۵۹	۰/۰۷۸	۰/۰۹۷	۰/۱۱۶	۰/۱۳۵	۰/۱۸۳	۰/۲۳۱	۰/۲۷۹	۰/۳۲۸	۰/۳۷۶	۰/۴۲۴	۰/۴۷۲	۰/۵۲۰	۰/۶۱۶	۰/۷۱۲	۰/۸۰۸	۰/۹۰۴
۰/۳۶	۰/۰۶۶	۰/۰۸۵	۰/۱۰۴	۰/۱۲۳	۰/۱۴۲	۰/۱۹۰	۰/۲۳۷	۰/۲۸۵	۰/۳۳۳	۰/۳۸۰	۰/۴۲۸	۰/۴۷۶	۰/۵۲۳	۰/۶۱۹	۰/۷۱۴	۰/۸۰۹	۰/۹۰۵
۰/۳۸	۰/۰۷۴	۰/۰۹۳	۰/۱۱۲	۰/۱۳۰	۰/۱۴۹	۰/۱۹۷	۰/۲۴۴	۰/۲۹۱	۰/۳۳۸	۰/۳۸۶	۰/۴۳۳	۰/۴۸۰	۰/۵۲۷	۰/۶۲۲	۰/۷۱۶	۰/۸۱۱	۰/۹۰۵
۰/۴۰	۰/۰۸۳	۰/۱۰۱	۰/۱۲۰	۰/۱۳۹	۰/۱۵۸	۰/۲۰۴	۰/۲۵۱	۰/۲۸۹	۰/۳۴۵	۰/۳۹۲	۰/۴۳۸	۰/۴۸۵	۰/۵۳۲	۰/۶۲۶	۰/۷۱۹	۰/۸۱۳	۰/۹۰۶
۰/۴۲	۰/۰۹۲	۰/۱۱۱	۰/۱۳۰	۰/۱۴۸	۰/۱۶۷	۰/۲۱۳	۰/۲۵۹	۰/۳۰۶	۰/۳۵۲	۰/۳۹۸	۰/۴۴۴	۰/۴۹۱	۰/۵۳۷	۰/۶۳۰	۰/۷۲۲	۰/۸۱۵	۰/۹۰۷
۰/۴۴	۰/۱۰۲	۰/۱۲۲	۰/۱۴۰	۰/۱۵۸	۰/۱۷۷	۰/۲۲۲	۰/۲۶۸	۰/۳۱۴	۰/۳۶۰	۰/۴۰۵	۰/۴۵۱	۰/۴۹۷	۰/۵۴۳	۰/۶۳۴	۰/۷۲۶	۰/۸۱۷	۰/۹۰۹
۰/۴۶	۰/۱۱۵	۰/۱۳۳	۰/۱۵۱	۰/۱۷۰	۰/۱۸۸	۰/۲۳۳	۰/۲۷۸	۰/۳۲۳	۰/۳۶۸	۰/۴۱۳	۰/۴۵۸	۰/۵۰۴	۰/۵۵۹	۰/۶۳۹	۰/۷۲۹	۰/۸۱۹	۰/۹۱۰
۰/۴۸	۰/۱۲۸	۰/۱۴۶	۰/۱۶۴	۰/۱۸۲	۰/۲۰۰	۰/۲۴۴	۰/۲۸۸	۰/۳۳۳	۰/۳۷۷	۰/۴۲۲	۰/۴۶۶	۰/۵۱۱	۰/۵۵۵	۰/۶۴۴	۰/۷۳۳	۰/۸۲۲	۰/۹۱۱
۰/۵۰	۰/۱۴۲	۰/۱۶۰	۰/۱۷۷	۰/۱۹۵	۰/۲۱۲	۰/۲۵۶	۰/۳۰۰	۰/۳۴۴	۰/۳۸۷	۰/۴۳۱	۰/۴۷۵	۰/۵۱۹	۰/۵۶۲	۰/۶۵۰	۰/۷۳۷	۰/۸۲۵	۰/۹۱۲
۰/۵۲	۰/۱۵۸	۰/۱۷۵	۰/۱۹۲	۰/۲۰۹	۰/۲۲۸	۰/۲۷۰	۰/۳۱۲	۰/۳۵۵	۰/۳۹۸	۰/۴۴۱	۰/۴۸۴	۰/۵۲۷	۰/۵۷۰	۰/۶۵۶	۰/۷۴۲	۰/۸۲۸	۰/۹۱۴
۰/۵۴	۰/۱۷۴	۰/۱۹۱	۰/۲۰۸	۰/۲۲۵	۰/۲۴۲	۰/۲۸۴	۰/۳۲۶	۰/۳۶۸	۰/۴۱۰	۰/۴۵۲	۰/۴۹۴	۰/۵۳۷	۰/۵۷۹	۰/۶۶۳	۰/۷۴۷	۰/۸۳۱	۰/۹۱۶
۰/۵۶	۰/۱۹۲	۰/۲۰۹	۰/۲۲۵	۰/۲۴۲	۰/۲۵۸	۰/۲۹۹	۰/۳۴۰	۰/۳۸۲	۰/۴۲۳	۰/۴۶۴	۰/۵۰۵	۰/۵۴۷	۰/۵۸۸	۰/۶۷۰	۰/۷۵۳	۰/۸۳۵	۰/۹۱۸
۰/۵۸	۰/۲۱۱	۰/۲۲۷	۰/۲۴۳	۰/۲۶۰	۰/۱۷۶	۰/۳۱۶	۰/۳۵۶	۰/۳۹۶	۰/۴۳۷	۰/۴۷۷	۰/۵۱۷	۰/۵۵۷	۰/۵۹۸	۰/۶۷۸	۰/۷۵۹	۰/۸۳۹	۰/۹۲۰

$\frac{M_{cr}}{Ma}$	K_{13}																			
	I_{cr} / I_g																			
۰/۶۰	۰/۲۳۲	۰/۲۴۷	۰/۲۶۳	۰/۲۷۹	۰/۲۹۴	۰/۳۳۴	۰/۳۷۳	۰/۴۱۲	۰/۴۵۱	۰/۴۹۰	۰/۵۳۰	۰/۵۶۹	۰/۶۰۸	۰/۶۸۶	۰/۷۶۵	۰/۸۴۳	۰/۹۲۲		
۰/۶۲	۰/۲۵۴	۰/۲۶۹	۰/۲۸۴	۰/۲۹۹	۰/۳۱۴	۰/۳۵۳	۰/۳۹۱	۰/۱۲۹	۰/۴۶۷	۰/۵۰۵	۰/۵۴۳	۰/۵۸۱	۰/۶۱۹	۰/۶۹۵	۰/۷۷۱	۰/۸۴۸	۰/۹۲۴		
۰/۶۴	۰/۲۷۷	۰/۲۹۲	۰/۳۰۶	۰/۳۲۱	۰/۳۳۶	۰/۳۷۳	۰/۴۱۰	۰/۴۴۷	۰/۴۸۴	۰/۵۲۰	۰/۵۵۷	۰/۵۹۴	۰/۶۳۱	۰/۷۰۵	۰/۷۷۹	۰/۸۵۲	۰/۹۲۶		
۰/۶۶	۰/۳۰۲	۰/۳۱۶	۰/۳۳۰	۰/۳۴۴	۰/۳۵۹	۰/۳۹۴	۰/۴۳۰	۰/۴۶۶	۰/۵۰۱	۰/۵۳۷	۰/۵۷۲	۰/۶۰۸	۰/۶۴۴	۰/۷۱۵	۰/۷۸۶	۰/۸۵۷	۰/۹۲۹		
۰/۶۸	۰/۳۱۸	۰/۳۳۲	۰/۳۴۶	۰/۳۶۹	۰/۳۸۳	۰/۴۱۷	۰/۴۵۲	۰/۴۸۶	۰/۵۲۰	۰/۵۵۴	۰/۵۸۹	۰/۶۲۳	۰/۶۵۷	۰/۷۲۶	۰/۷۹۴	۰/۸۶۳	۰/۹۳۱		
۰/۷۰	۰/۳۵۶	۰/۳۶۹	۰/۳۸۲	۰/۳۹۶	۰/۴۰۹	۰/۴۴۲	۰/۴۷۴	۰/۵۰۷	۰/۵۴۰	۰/۵۷۳	۰/۶۰۶	۰/۶۳۹	۰/۶۷۱	۰/۷۳۷	۰/۸۰۲	۰/۸۶۹	۰/۹۳۴		
۰/۷۲	۰/۳۷۶	۰/۳۹۸	۰/۴۱۱	۰/۴۲۳	۰/۴۳۶	۰/۴۶۷	۰/۴۹۹	۰/۵۳۰	۰/۵۶۱	۰/۵۹۳	۰/۶۲۴	۰/۶۵۵	۰/۶۸۷	۰/۷۴۹	۰/۸۱۲	۰/۸۷۵	۰/۹۳۷		
۰/۷۴	۰/۴۱۷	۰/۴۲۹	۰/۴۴۱	۰/۴۵۳	۰/۴۶۵	۰/۴۹۴	۰/۵۲۴	۰/۵۵۴	۰/۵۸۴	۰/۶۱۳	۰/۶۴۳	۰/۶۷۳	۰/۷۰۳	۰/۷۶۲	۰/۸۲۲	۰/۸۸۱	۰/۹۴۱		
۰/۷۶	۰/۴۵۰	۰/۴۶۱	۰/۴۷۳	۰/۴۸۴	۰/۴۹۵	۰/۵۲۳	۰/۵۵۱	۰/۵۷۹	۰/۶۰۷	۰/۶۳۵	۰/۶۶۳	۰/۶۹۱	۰/۷۱۹	۰/۷۹۶	۰/۸۳۲	۰/۸۸۸	۰/۹۴۴		
۰/۷۸	۰/۴۸۵	۰/۴۹۶	۰/۵۰۶	۰/۵۱۷	۰/۵۲۷	۰/۵۵۳	۰/۵۸۰	۰/۶۰۶	۰/۶۳۲	۰/۶۵۸	۰/۶۸۵	۰/۷۱۱	۰/۷۳۷	۰/۷۹۰	۰/۸۴۲	۰/۸۹۵	۰/۹۴۷		
۰/۸۰	۰/۵۲۲	۰/۵۳۲	۰/۵۴۱	۰/۵۵۱	۰/۵۶۱	۰/۵۸۵	۰/۶۱۰	۰/۶۳۴	۰/۶۵۸	۰/۶۸۳	۰/۷۰۷	۰/۷۳۲	۰/۷۵۶	۰/۸۰۵	۰/۸۵۴	۰/۹۰۲	۰/۹۵۱		
۰/۸۲	۰/۵۶۰	۰/۵۶۹	۰/۵۷۸	۰/۵۸۷	۰/۵۹۶	۰/۶۱۹	۰/۶۴۱	۰/۶۶۴	۰/۶۸۶	۰/۷۰۸	۰/۷۳۱	۰/۷۵۳	۰/۷۷۶	۰/۸۲۱	۰/۸۶۵	۰/۹۱۰	۰/۹۵۵		
۰/۸۴	۰/۶۰۱	۰/۶۰۹	۰/۶۱۷	۰/۶۲۵	۰/۶۳۳	۰/۶۵۴	۰/۶۷۴	۰/۶۹۵	۰/۷۱۵	۰/۷۳۵	۰/۷۵۶	۰/۷۷۶	۰/۷۹۶	۰/۸۳۷	۰/۸۷۸	۰/۹۱۹	۰/۹۵۹		
۰/۸۶	۰/۶۴۴	۰/۶۵۱	۰/۶۵۸	۰/۶۶۵	۰/۶۷۲	۰/۶۹۲	۰/۷۱۲	۰/۷۳۲	۰/۷۵۲	۰/۷۷۲	۰/۷۹۲	۰/۸۱۲	۰/۸۳۲	۰/۸۷۲	۰/۹۲۲	۰/۹۷۲			
۰/۸۸	۰/۶۸۸	۰/۶۹۴	۰/۷۰۱	۰/۷۰۷	۰/۷۱۳	۰/۷۲۹	۰/۷۵۴	۰/۷۶۱	۰/۷۷۷	۰/۷۹۳	۰/۸۰۹	۰/۸۲۵	۰/۸۴۱	۰/۸۷۳	۰/۹۰۴	۰/۹۳۶	۰/۹۶۸		
۰/۹۰	۰/۷۳۴	۰/۷۴۰	۰/۷۴۵	۰/۷۵۱	۰/۷۵۶	۰/۷۷۰	۰/۷۸۳	۰/۷۹۷	۰/۸۱۰	۰/۸۲۴	۰/۸۳۷	۰/۸۵۱	۰/۸۶۴	۰/۸۹۲	۰/۹۱۹	۰/۹۴۶	۰/۹۷۳		
۰/۹۲	۰/۷۸۳	۰/۷۸۸	۰/۷۹۲	۰/۷۹۶	۰/۸۰۱	۰/۸۱۲	۰/۸۰۳	۰/۸۳۴	۰/۸۴۵	۰/۸۵۶	۰/۸۶۷	۰/۸۷۸	۰/۸۸۹	۰/۹۱۱	۰/۹۳۴	۰/۹۵۶	۰/۹۷۸		
۰/۹۴	۰/۸۳۴	۰/۸۳۷	۰/۸۴۱	۰/۸۴۴	۰/۸۴۸	۰/۸۵۶	۰/۸۶۴	۰/۸۷۳	۰/۸۸۱	۰/۸۹۰	۰/۸۹۸	۰/۹۰۷	۰/۹۱۵	۰/۹۳۲	۰/۹۴۹	۰/۹۶۶	۰/۹۸۳		
۰/۹۶	۰/۸۸۷	۰/۸۸۹	۰/۸۹۲	۰/۸۹۴	۰/۸۹۶	۰/۹۰۲	۰/۹۰۸	۰/۹۱۴	۰/۹۱۹	۰/۹۲۵	۰/۹۳۱	۰/۹۳۷	۰/۹۴۲	۰/۹۵۴	۰/۹۶۵	۰/۹۷۷	۰/۹۸۸		
۰/۹۸	۰/۹۴۲	۰/۹۴۴	۰/۹۴۵	۰/۹۴۶	۰/۹۴۷	۰/۹۵۰	۰/۹۵۳	۰/۹۵۶	۰/۹۵۹	۰/۹۶۲	۰/۹۶۵	۰/۹۶۸	۰/۹۷۱	۰/۹۷۶	۰/۹۸۲	۰/۹۸۸	۰/۹۹۴		

افت ۵-۱) مقادیر M_c و K_{a3} برای محاسبه سریع افت در اعضا خمشی

مراجع بندهای ۱۰-۳ و ۱۴-۲-۱-۱ از آیین‌نامه بتن ایران

$$a_c = \frac{\sum (K_{a3}.M_c)}{I_e} k_{a1}, cm$$

Case	Condition	Mc ,KN.m	K_{a3}
1		$\frac{M_A + M_B}{2}$	6.0
2		$\frac{W\ell^2}{8}$	5.0
3		$\frac{W\ell^2}{18}$	5.0
4		$\frac{W\ell^2}{12}$	4.8
5		$\frac{Pb}{2}$	Cases 5 and 6 b/ℓ K_{a3} 0.125 5.875 0.200 5.680 0.250 5.500 0.333 5.111 0.400 4.720 0.500 4.000
6		Pb	
7		Mc - 0.1 (M_A+M_B)	5.0

افت ۵-۲) مقادیر K_{a1} برای محاسبه سریع افت در اعضا خمشی

مراجع بندهای ۱۰-۳ از آیین‌نامه بتن ایران

ℓ بر حسب m می‌باشد.

$$K_{a1} = \frac{10^7 \ell^2}{48 E_c}$$

$$E_c = 5000\sqrt{f_c}$$

$$a_c = \frac{\sum (K_{a3} . M_c)}{I_e} k_{a1}$$

I_e بر حسب cm^4 و a_c بر حسب cm می‌باشد.

طول دهانه (m)	K_{a1}		
	f_c , Mpa		
	۲۰	۲۵	۳۰
۲/۵	۵۸/۲۳	۵۲/۰۸	۴۷/۵۵
۳	۸۳/۸۵	۷۵/۰۰	۶۸/۴۷
۳/۵	۱۱۴/۱۳	۱۰۲/۰۸	۹۳/۱۹
۴	۱۴۹/۰۷	۱۳۳/۳۳	۱۲۱/۷۱
۴/۵	۱۸۸/۶۹	۱۶۸/۷۵	۱۵۴/۰۵
۵	۲۳۲/۹۲	۲۰۸/۳۳	۱۹۰/۱۸
۵/۵	۲۸۱/۸۴	۲۵۲/۰۸	۲۳۰/۱۲
۶	۳۳۵/۴۱	۳۰۰/۰۰	۲۷۳/۸۶
۶/۵	۳۹۳/۶۴	۳۵۲/۰۸	۳۲۱/۴۱
۷	۴۵۶/۵۳	۴۰۸/۳۳	۳۷۲/۷۶
۷/۵	۵۲۴/۰۸	۴۶۸/۷۵	۴۲۷/۹۱
۸	۵۹۶/۲۸	۵۳۳/۳۳	۴۸۶/۸۶
۸/۵	۶۷۳/۱۵	۶۰۲/۰۸	۵۴۹/۶۲
۹	۷۵۴/۶۷	۶۷۵/۰۰	۶۱۶/۱۹
۹/۵	۸۴۰/۸۵	۷۵۲/۰۸	۶۸۶/۵۶
۱۰	۹۳۱/۶۹	۸۳۳/۳۳	۷۶۰/۷۳
۱۰/۵	۱۰۲۷/۱۹	۹۱۸/۷۵	۸۳۸/۷۰
۱۱	۱۱۲۷/۳۵	۱۰۰۸/۳۳	۹۲۰/۴۸
۱۱/۵	۱۲۳۲/۱۷	۱۱۰۲/۰۸	۱۰۰۶/۰۶
۱۲	۱۳۴۱/۶۴	۱۲۰۰/۰۰	۱۰۹۵/۴۵
۱۲/۵	۱۴۵۵/۷۷	۱۳۰۲/۰۸	۱۱۸۸/۶۳
۱۳	۱۵۷۴/۵۶	۱۴۰۸/۳۳	۱۲۸۵/۶۳
۱۳/۵	۱۶۹۸/۰۱	۱۵۱۸/۷۵	۱۲۳۸۶/۴۲

طول دهانه M	K_{al}		
	f_c , Mpa		
	۲۰	۲۵	۳۰
۱۴	۱۸۲۶/۱۲	۱۶۳۳/۳۳	۱۴۹۱/۰۲
۱۴/۵	۱۵۵۸/۸۹	۱۷۵۲/۰۸	۱۵۹۹/۴۳
۱۵	۲۰۹۶/۳۱	۱۸۷۵/۰۰	۱۷۱۱/۶۳
۱۵/۵	۲۲۳۸/۴۰	۲۰۰۲/۰۸	۱۸۲۷/۶۴
۱۶	۲۳۸۵/۱۴	۲۱۳۳/۳۳	۱۹۴۷/۴۶
۱۶/۵	۲۵۳۶/۵۴	۲۲۶۸/۷۵	۲۰۷۱/۰۸
۱۷	۲۶۹۲/۶۰	۲۴۰۸/۳۳	۲۱۹۸/۵۰
۱۷/۵	۲۸۵۳/۶۲	۲۵۵۲/۰۸	۲۳۲۹/۷۲
۱۸	۳۰۱۸/۶۹	۲۷۰۰/۰۰	۲۴۶۴/۷۵
۱۸/۵	۳۱۸۸/۷۳	۲۸۵۲/۰۸	۲۶۰۳/۵۸
۱۹	۳۳۶۳/۴۲	۳۰۰۸/۳۳	۲۷۴۶/۲۲
۱۹/۵	۳۵۴۲/۷۷	۳۳۶۸/۷۵	۲۸۹۲/۶۶
۲۰	۳۷۲۶/۷۸	۳۳۳۳/۳۳	۳۰۴۲/۹۰
۲۰/۵	۳۹۱۵/۴۵	۳۵۰۲/۰۸	۳۱۹۶/۹۵
۲۱	۴۱۰۸/۷۷	۳۶۷۵/۰۰	۳۳۵۴/۸۰
۲۱/۵	۴۳۰۶/۷۶	۳۸۵۲/۰۸	۳۵۱۶/۴۵
۲۲	۴۵۰۹/۴۰	۴۰۳۳/۳۳	۳۶۸۱/۹۰
۲۲/۵	۴۷۱۶/۷۱	۴۲۱۸/۷۵	۳۸۵۱/۱۷
۲۳	۴۹۲۸/۶۷	۴۴۰۸/۳۳	۴۰۲۴/۲۴
۲۳/۵	۵۱۴۵/۲۹	۴۶۰۲/۰۸	۴۲۰۱/۱۱
۲۴	۵۳۶۶/۵۶	۴۸۰۰/۰۰	۴۳۸۱/۷۸
۲۴/۵	۵۵۹۲/۵۰	۵۰۰۲/۰۸	۴۵۶۶/۲۶
۲۵	۵۸۲۳/۰۹	۵۲۰۸/۳۳	۴۷۵۴/۵۶

تذکر : در محاسبه افت از بارهای بهره‌برداری (بدون ضریب) استفاده شود.

دالهای دو طرفه

مثال ۱ طرح دال دو طرفه و بدون تیر به روش مستقیم

دال دوطرفه و بدون تیر صفحه بعد را با استفاده از روش مستقیم طرح کنید. در آکسهای (A) و (۱) تیرهای لبه به عرض ۴۰ سانتیمتر پیش‌بینی شده‌اند. در آکس‌های (5) و (D) تیر لبه وجود ندارد. استفاده از سر ستون مجاز است.

مشخصات :

بار زنده = 6 KN/m^2

بار کف سازی = 0.7 KN/m^2

بار دیوارهای خارجی = 5.9 KN/m

f_c = 20 MPa

f_y = 300 MPa

ابعاد ستونهای میانی زیر دال = 50×50 cm^2

ابعاد ستونهای میانی روی دال = 45×45 cm^2

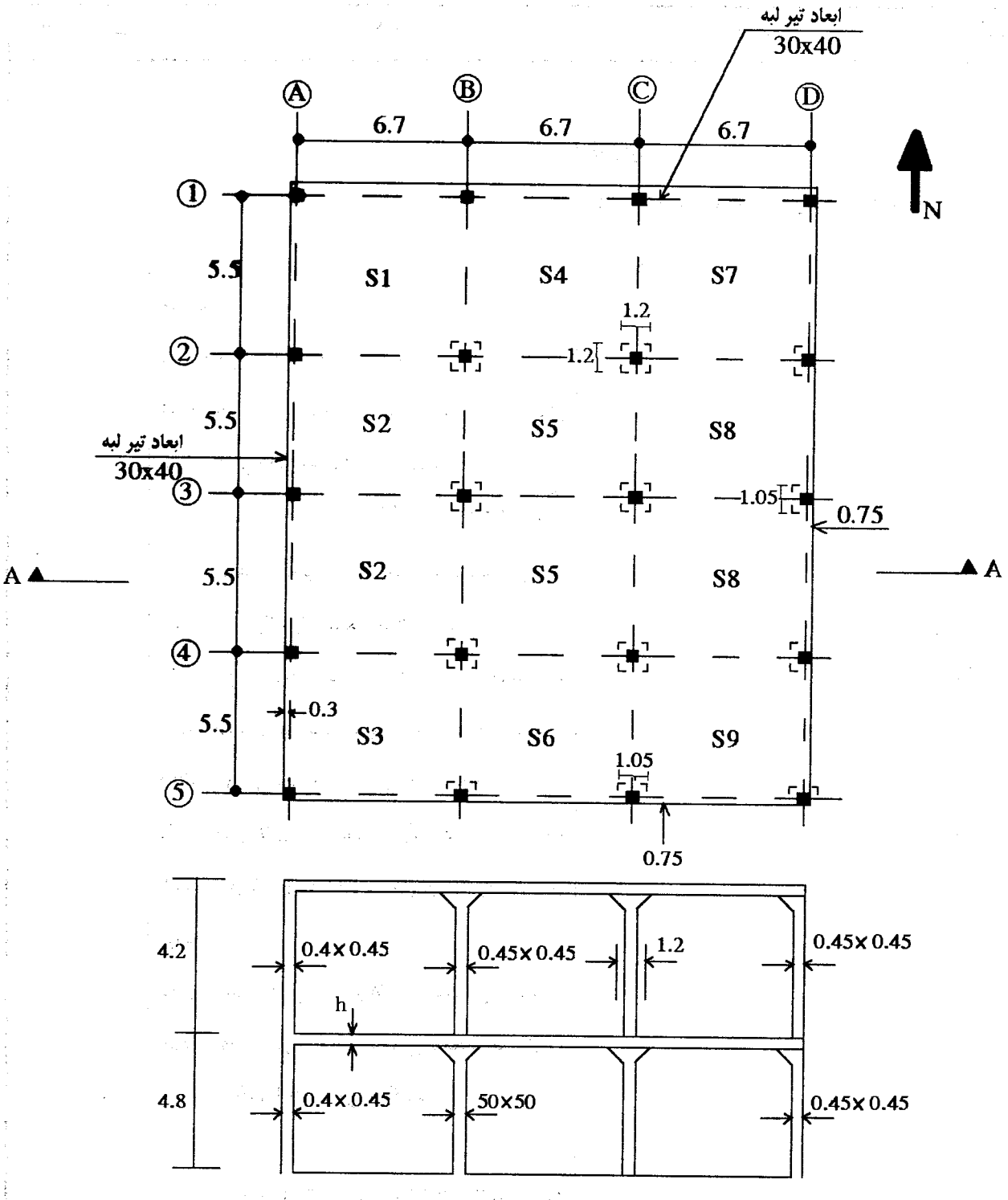
ابعاد ستون گوشه = 40×40 cm^2

ابعاد سایر ستونهای خارجی و دارای تیر لبه = 40×45 cm^2 (بعد بزرگتر موازی لبه دال)

ابعاد ستونهای خارجی و بدون تیر لبه = 45×45 cm^2

ارتفاع کف تا کف طبقه زیر دال = 4.8 m

ارتفاع کف تا کف طبقه روی دال = 4.2 m

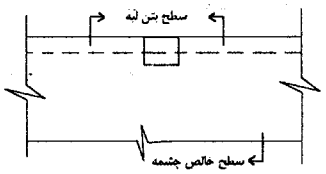
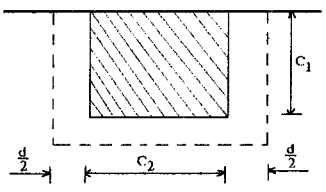

ابعاد تیر لبه
30x40
A
B
C
D
6.7
6.7
6.7
N
1
2
3
4
5
5.5
5.5
5.5
5.5
S1
S4
S7
S2
S5
S8
S2
S5
S8
S3
S6
S9
1.2
1.2
1.05
0.75
0.3
1.05
0.75
ابعاد تیر لبه
30x40
A
A
4.2
4.8
0.4×0.45
0.45×0.45
1.2
0.45×0.45
h
0.4×0.45
50×50
0.45×0.45

SECTION A-A

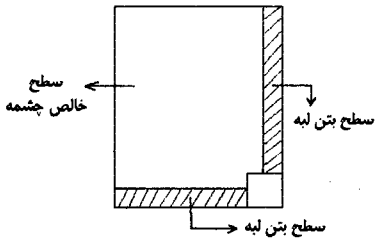
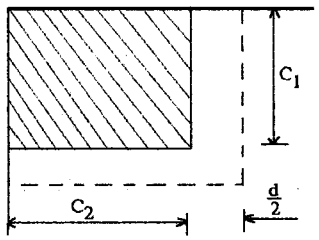
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام اول) کنترل هندسه و بارگذاری دال برای استفاده از روش مستقیم	
	ضوابط:		
	A–حداقل سه دهانه پیوسته در هر جهت موجود باشد.		۲-۱-۷-۱۵
	B–دال‌ها مستطیل‌شکل باشند و نسبت طول ضلع بزرگتر به کوچکتر آنها بیشتر از ۲ نباشد. $\frac{6.7}{5.5}=1.22<2$ O.K.		۳-۱-۷-۱۵
	C- دهانه‌های متوالی در هر امتداد نباید بیشتر از یک سوم دهانه بزرگتر با یکدیگر اختلاف طول داشته باشد.		۴-۱-۷-۱۵
	D- برون محوری هیچیک از ستون‌ها نسبت به صفحه قاب در هر امتداد نباید بیشتر از ده درصد طول دهانه عمود بر صفحه قاب بر آن امتداد باشد.		۵-۱-۷-۱۵
	E- بارهای قائم باید بصورت یکنواخت پخش شده باشند و بارهای زنده نباید بزرگتر از دو برابر بارهای مرده باشند.		۶-۱-۷-۱۵
	برای تخمین حداقل مقدار W_d، ضخامت دال را برابر حداقل مقدار مجاز (12.5cm) و وزن مخصوص بتن را برابر $24\ KN/m^3$ فرض می‌کنیم.		۶-۴-۲-۱۴
	$W_D = 0.7 + 0.125 \times 24 = 3.7 \quad KN.m^2$ $2W_D = 2 \times 3.7 = 7.4$ $W_L = 6\ KN.m^2 < 2\ W_d$ O.K. بنابراین می‌توان از روش مستقیم استفاده کرد.	وزن دال+ بار کف‌سازی = بار مرده	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام دوم)	
		انتخاب ضخامت دال با توجه به برش و افت در چشمه بحرانی	
	برای چشمه S9 داریم:	A- در چشمه S9 ضخامت لازم برای افت محاسبه می‌شود. فرض می‌شودو که هیچیک از ستون‌های کتیبه ندارند.	۲-۳-۷-۱۵
	$\ell_n(5) = 6.7 - \frac{0.45}{2} - \frac{0.45}{2} = 6.25 \quad m$	تذکر: اگر ستون‌ها دارای کتیبه نباشند و دهانه‌های متوالی در یک جهت برابر باشند، چشمه بحرانی برای یک دال با ضخامت ثابت، چشمه گوشه‌ای است که دارای کوچکترین تیر لبه می‌باشد.	
	$\ell_n(D) = 5.5 - \frac{0.45}{2} - \frac{0.45}{2} = 5.05 \quad m$	نسبت طول دهانه خالص بزرگتر به کوچکتر=β	
	$\beta = \frac{\ell_n(5)}{\ell_n(D)} = \frac{6.25}{5.05} = 1.24 \quad m$	نسبت طول لبه پیوسته به کل محیط پانل=β_s	
	$\beta_s = 0.5$	متوسط α برای تمام تیرهای پیرامونی چشمه =α_m	
	$\alpha_m = 0$	نسبت‌سختی خمشی تیر به سختی خمشی دال = α	
		به پهنای l_2	
	به جای l_n طول دهانه خالص بزرگتر را قرار می‌دهیم.	حداقل ضخامت دالهای تخت بدون تیر میانی	۵-۴-۲-۱۴
	$h = \frac{\ell_n}{36} = \frac{6.25}{36} = 17.4 \quad cm$	B- کنترل ضخامت دال برای برش	
		V_u = برش سوراخ‌کننده کل = W_u ×شدت بار نهایی	
		سطح مقطع خالص دال	
	با فرض $h = 20$ cm داریم:	وزن دال+ بار کف‌سازی = بار مرده	
	$W_D = 0.7 + 0.2 \times 24 = 5.5 \quad KN/m^2$	$W_u = 1.25\, W_D + 1.5\, W_L$	۳-۳-۵-۱۰
	$W_L = 6\ KN/m^2$	B_1 = برای برش سوراخ‌کننده در ستون‌های داخلی داریم:	
	$W_u = 1.25\times5.5+1.5\times6 = 15.875\ KN/m^2$		

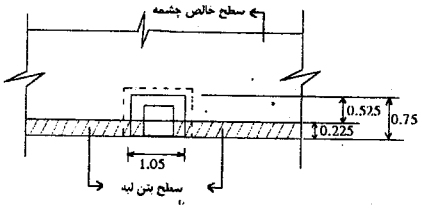
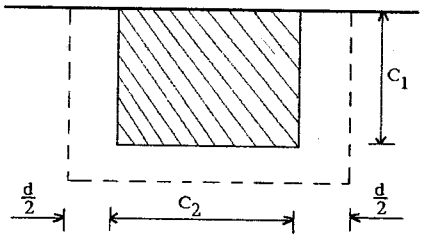
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$A_n = 16.7 \times 5.5 - 0.5^2 = 36.6 \quad m^2$	x طول دهانه = سطح مقطع خالص دال	
		سطح مقطع یک ستون − عرض قاب طراحی	
	$V_u = 15.875 \times 36.6 = 581\ KN$	$V_u = W_u \cdot A_n$	
	با فرض $d = 17\ cm$ داریم:		
	$b_o = (0.5+0.17) \times 4 = 2.68\ m$	$b_o = (C + d) \times 4$	۱-۲-۱۷-۱۲
	$\beta_c = \frac{0.5}{0.5} = 1$	$\beta_c = \frac{C_2}{C_1}$	۴-۲-۱۷-۱۲
	$V_{c1} = 3 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	$V_{c1} = (1 + \frac{2}{\beta_c}) 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	معادله ۱۲-۳۴
	$V_{c2} = (\frac{20 \times 0.17}{2.61} + 1) 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	$V_{c2} = (\frac{\alpha_s d}{b_o} + 1) 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	معادله ۱۲-۳۵
	$V_{c2} = 2.3 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$		
	$V_{c3} = 2 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	$V_{c3} = 2 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	معادله ۱۲-۳۶
	$V_c = 2 \times 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} \times 2.68 \times 0.17 \times 10^3$	$V_c = \min (V_{c1}, V_{c2}, V_{c3})$	
	$V_c = 489\ KN < V_u$ N.G.		
	پس باید ضخامت دال را افزایش داد.		
	با فرض $h = 25\ cm$ داریم:		
	$W_d = 0.7 + 0.25 \times 24 = 6.7 \quad KN/m^2$		
	$W_u = 1.25 \times 6.7 + 1.5 \times 6 = 17.375$		
	$V_u = 17.375 \times 36.6 = 635.9\ KN$	$V_u = W_u \cdot A_n$	
	با فرض $d = 22\ cm$ داریم:		
	$b_o = (0.5 + 0.22) \times 4 = 2.88 \quad m$	$B_o = (C + d) \times 4$	

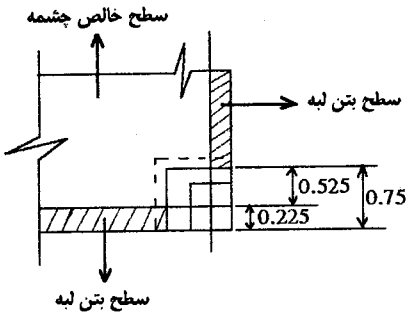
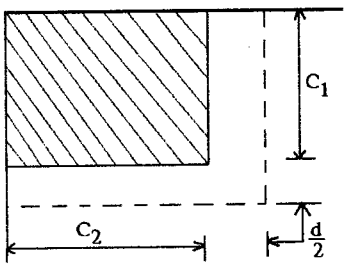
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$V_c = V_{c3} = 2\times0.2\times0.6\times\sqrt{20}\times2.88\times0.22\times10^3$ $V_c = 680 \ \ KN > V_u \quad O.K$	تذکر: در این مرحله از آنجا که لنگرها مشخص نیستند، فقط کنترل برای برش پانچ عملی است. **برای ایجاد ظرفیت برشی اضافی از انتقال لنگر خمشی در محل اتصال دال به ستون، باید ضخامت دال را افزایش داد.** مقادیر پیشنهادی برای این حالت عبارتند از: ۱۰ درصد ستون‌های میانی ۴۰ درصد ستون‌های کناری ۷۰ درصد ستون‌های گوشه	
	بنابراین $h = (22 \times 1.1) + 3 = 27.2 \ \ cm$ و یا $h = 27 \ \ cm$ در فرمول فوق پوشش بتنی برابر ۳ سانتیمتر فرض شده است.	B2- برای کنترل برش در ستون کناری بارهای زیر مدنظر قرار می‌گیرند: بارهای روی نصف سطح خالص چشمه، وزن بتن لبه، و دیوار خارجی طبقه فوقانی با ضریب بار مرده.	
	برای $h = 27$ cm داریم: $W_u = 1.25\ (0.7 + 0.27 \times 24) + 1.5 \times 6$ $W_u = 9 + 9 = 18 \ KN/m^3$		
	$V_u = (\frac{6.7\times5.5}{2} - \frac{0.45\times0.45}{2})\times18 + \frac{0.45}{2}$ $(6.7-0.45)\times9 + (6.7-0.45)\times5.9\times1.25$ $V_u = 388.6 \ \ KN$		

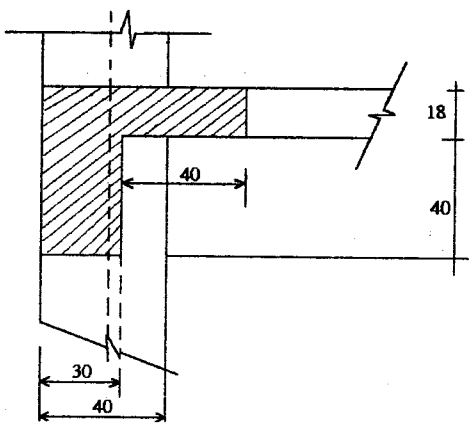
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$b_o = 2(0.45 + \frac{0.24}{2}) + (0.45 + 0.24)$ $b_o = 1.83\ m$	$b_o = 2(C_1 + \frac{d}{2}) + (C_2 + d)$	
	$\beta_c = \frac{0.45}{0.45} = 1$	$\beta_c = \frac{C_2}{C_1}$	۴-۲-۱۷-۱۲
	$V_{c1} = 3 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	$V_{c1} = (1 + \frac{2}{\beta_c}) 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	معادله ۱۲-۳۴
	$V_{c2} = (\frac{15 \times 0.24}{1.83} + 1) 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$ $V_{c2} = 2.97 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	$V_{c2} = (\frac{\alpha_s d}{b_o} + 1) 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	معادله ۱۲-۳۵
	$V_{c3} = 2 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$ $V_c = V_{c3} = 2 \times 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} \times 1.83 \times 0.24 \times 10^3$ $V_c = 471.4\ KN > V_u$ O.K. با وجود اینکه V_c خیلی بزرگتر از Vu است نمی‌توان ضخامت دال را کاهش داد. چرا که برش ناشی از انتقال لنگر خمشی در محل اتصال دال به ستون در نظر گرفته نشده است و مطابق تذکر قبل ارتفاع موثر بهینه d را باید در این حالت در ۱/۴ ضرب نمود.	$V_{c3} = 2 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$ $V_c = \min (V_{c1}, V_{c2}, V_{c3})$ B3 – کنترل برش در ستون گوشه با توجه به محاسبات ستون‌های میانی و کناری، ضخامت لازم برای برش، بیش از ضخامت لازم برای افت است و بنابراین استفاده از کتیبه یا سرستون منطقی است. برای کامل کردن مثال این موضوع را در ستون‌های گوشه نیز کنترل می‌کنیم.	معادله ۱۲-۳۶

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	برای h = 20cm داریم :	 برش ستون‌های گوشه با توجه به بارهای زیر محاسبه می‌شود: بارهای روی یک چهارم سطح خالص چشمه، وزن بتن لبه و دیوار خارجی روی دو لبه با ضریب بار مرده.	
	$W_u = 15.875\ KN/m^2$		
	$V_u = (\frac{6.7\times5.5}{4} - \frac{0.45\times0.45}{4})\times15.875$ $+\left[\frac{0.45}{2}(\frac{6.7}{2}-\frac{0.45}{2}) + \frac{0.45}{2}\times\left(\frac{5.5}{2}-\frac{0.45}{2}\right)\right]$ $\times1.25\times5.5 + (\frac{6.7+5.5}{2} - 0.45)\times5.9\times1.25$		
	$V_u = 195.85\ \ KN$		
		 $b_o = (C_1 + \frac{d}{2}) + (C_2 + \frac{d}{2})$	
	$b_o = (0.45 + \frac{0.17}{2}) + (0.45 + \frac{0.17}{2})$ $b_o = 1.07\ m$		
	$\beta_c = \frac{0.45}{0.45} = 1$	$\beta_c = \frac{C_2}{C_1}$	۴-۲-۱۷-۱۲
	$V_{c1} = 3\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o d$	$V_{c1} = (1+\frac{2}{\beta_o})0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o d$	معادله ۱۲-۳۴
	$V_{c2} = (\frac{10\times0.17}{1.07}+1)0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o d$	$V_{c2} = (\frac{\alpha_s d}{b_o}+1)0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o d$	معادله ۱۲-۳۵
	$V_{c2} = 2.59\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o d$		
	$V_{c3} = 2\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o d$	$V_{c3} = 2\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o d$	معادله ۱۲-۳۶
	$V_c = V_{c3} = 2\times0.2\times0.6\times\sqrt{20}\times1.07\times0.17\times10^3$ $V_c = 195.2\ KN \approx V_u$ O.K.	$V_c = \min(V_{c1},\ V_{c2},\ V_{c3})$	
	با توجه به برش ناشی از انتقال لنگر خمشی داریم:	C- انتخاب ابعاد سر ستون	
	$h = (17\times1.7) + 3 = 31.9\ cm$	برای ابعاد سرستون مربوط به ستون‌های داخلی مقدار زیر پیشنهاد می‌شود:	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$0.15\ell_a = 0.15(\frac{5.5+6.7}{2}) = 0.92$ m $0.25\ell_a = 0.25(\frac{5.5+6.7}{2}) = 1.5$ m بنابراین ابعاد سر ستون مربوط به ستون‌های داخلی را برابر با مقدار زیر فرض می‌کنیم: $C_1 = C_2 = 1.2$ m برای ستون‌های لبه ابعاد زیر را برای سر ستون‌ها در نظر می‌گیریم: در امتداد عمود بر لبه 0.75 m در امتداد لبه 1.05 m برای ستون گوشه آکس D5 ،ابعاد سرستون برابر است با: $C_1 = C_2 = 0.75$ m ℓ_n (5) = 6.7 - 0.525 - 0.525 ℓ_n (5) = 5.65 m ℓ_n (D) = 5.5 - 0.525 - 0.525 ℓ_n (D) = 4.45 m $\beta = \frac{\ell_n(5)}{\ell_n(D)} = \frac{5.65}{4.45} = 1.27$ $h = \frac{\ell_n}{36} = \frac{565}{36} = 15.69$ cm USE h = 18 cm $W_D = 0.7 + 0.18 \times 24 = 5$ KN/m^2	$0.15\ell_a<C<0.25\ell_a$ که ℓ_a متوسط طول دهانه‌های بزرگتر و کوچکتر می‌باشد. تذکر۱ : در انتخاب ابعاد سرستون،علاوه بر برش، باید به مسائل اجرائی نیز توجه شود. تذکر ۲: به خاطر اینکه در آکس‌های (۱) و (A) تیر وجود دارد، از سر ستون استفاده نمی‌شود. تکرار گام‌های A و B با سر ستون: 'A – کنترل افت در پانل S9 پس از استفاده از سر ستون. 'B1– کنترل برش سوراخ‌کننده در ستون‌های داخلی، که دارای سرستون می‌باشند.	۵-۴-۲-۱۴

بند آیین‌نامه	روش	محاسبات	جداول کمکی
۳-۳-۵-۱۰	$W_L = 1.25\ W_D + 1.5\ W_L$	$W_L = 6\ KN/m^2$ $W_u = 1.25 \times 5 + 1.5 \times 6 = 15.25\ KN/m^2$ $V_u = (6.7 \times 5.5 - 1.2^2) \times 15.25 = 540\ KN$	
۱-۲-۱۷-۱۲	$b_o = (c+d) \times 4$	با فرض d=15 cm داریم : $b_o = (1.2+0.15) \times 4 = 5.4\ m$	
۴-۲-۱۷-۱۲	با توجه به قسمت B_1 داریم: $V_c = 2 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c}\, b_o d$	$V_c = 2 \times 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} \times 5.4 \times 0.15 \times 10^3$ $V_c = 869.4\ KN > V_u$ O.K.	
	B2' – کنترل برش در ستون کناری 	$V_u = (\frac{6.7 \times 5.5}{2} - 1.05 \times 0.525) \times 15.25 + 0.225$ $(6.7\text{-}1.05) \times 1.25 \times 5 + (6.7\text{-}1.05) \times 5.9 \times 1.25$ $V_u = 322.2\ KN$	
	 $b_o = 2(C_1 + \frac{d}{2}) + (C_2 + d)$	$b_o = 2(0.75 + \frac{0.15}{2}) + (1.05 + 0.15)$ $b_o = 2.85\ m$	
	با توجه به قسمت B_2 داریم: V_{c1} و V_{c2} تغییری نمی‌کنند.		
۴-۲-۱۷-۱۲	$V_{c2} = (\frac{\alpha_s d}{b_o} + 1) 0.2\phi_c \sqrt{f_c}\, b_o d$	$V_{c2} = \frac{(15 \times 0.15)}{2.85} 0.2\phi_c \sqrt{f_c}\, b_o d$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$V_{c2} = 1.79 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d = V_{c\min}$ بنابراین : $V_c = 1.79 \times 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} \times 2.85 \times 0.15 \times 10^3$ $V_c = 411 \quad KN > V_u \quad O.K.$	B3' – کنترل برش در ستون گوشه	
	$V_u = (\frac{6.7 \times 5.5}{2} - 0.525^2) \times 15.25 + 0.225$ $\left[0.225 \times (\frac{6.7}{2} - 0.525) + 0.225 \times (\frac{5.5}{2} - 0.525)\right]$ $\times 1.25 \times 5 + (\frac{6.7 + 5.5}{2} - 2 \times 0.525) \times 5.9 \times 1.25$ $V_u = 180.6 \quad KN$		
	$b_o = 2(0.75 + \frac{0.15}{2}) + (0.75 + \frac{0.15}{2}) = 1.65 \quad m$		
	$V_{c2} = \frac{(10 \times 0.15}{1.65}) 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$ $V_{c2} = 1.91 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d = V_{c\min}$ بنابراین: $V_c = 1.91 \times 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} \times 1.65 \times 0.15 \times 10^3$	$b_o = (C_1 + \frac{d}{2}) + (C_2 + \frac{d}{2})$ با توجه به قسمت B3 داریم: V_{c1} و V_{c3} تغییری نمی‌کنند. $V_{c2} = (\frac{\alpha_s d}{b_o} + 1) 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	۴-۲-۱۷-۱۲

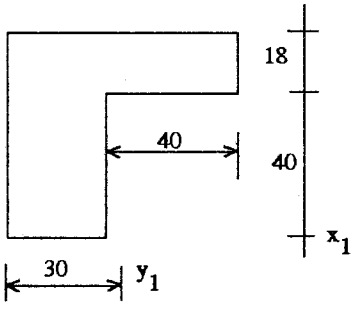
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$V_c = 253.7 \quad KN > V_u$	D-کنترل کافی بودن ضخامت دال در سایر چشمه‌ها	
	کنترل چشمه S2 :		
	$\ell_n(A) = 5.5 - \frac{0.45}{2} - \frac{0.45}{2} = 5.05 \quad m$		
	$\ell_n(B) = 5.5 - \frac{1.2}{2} - \frac{1.2}{2} = 4.3 \quad m$		
	(طول متوسط شمالی جنوبی)	تذکر۱ : در دالهایی که تمام دهانه‌ها شبیه یکدیگر نیستند، ممکن است لازم شود که چند چشمه کنترل گردد تا چشمه بحرانی برای افت مشخص شود. این قسمت نحوه برخورد با چشمه‌هایی که دارای تیر لبه می‌باشند را مشخص می‌کند.	
	$\ell_n(NS) = \frac{5.05 + 4.3}{2} = 4.675 \quad m$		
	(طول شرقی غربی)		
	$\ell_n(EW) = 6.7 - 0.1 - \frac{1.2}{2}$		
	$\ell_n(EW) = 6 \quad m$		
	$\beta = \frac{6}{4.675} = 1.28$	$\beta = \frac{\text{طول دهانه بزرگتر}}{\text{طول دهانه کوچکتر}}$	
	$\beta_s = \frac{6.7 \times 2 + 5.5}{2(6.7 + 5.5)} = 0.775$	$\beta_s = \frac{\text{طول لبه‌های پیوسته}}{\text{کل محیط دال}}$	
		تذکر ۲: طول دهانه آزاد l_n در حالتی که ستونها دارای سر ستون باشند از لبه سر ستون و در حالتیکه دارای سر ستون نباشند از بر ستون اندازه‌گیری می‌شود. لازم به تذکر است که در صورت وجود تیر در دال، l_n از لبه تیر اندازه‌گیری می‌شود. حداقل مقدار l_n برابر با l_1 ۰/۶۵ می‌باشد. منظور از l_1 فاصله مرکز تا مرکز تکیه‌گاه‌ها است. D_1 - محاسبه α_m	۲-۳-۷-۱۵

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		تیر در دال‌ها شامل جان تیر و قسمتی از دال است که در هر سمت تیر دارای عرضی برابر با تصویر مایل ۴۵ درجه آن قسمت از جان تیر باشد که در زیر یا در روی دال، هر کدام ارتفاع بیشتری دارد قرار می‌گیرد مشروط بر آنکه این عرض در هر سمت جان بزرگتر از ۴ برابر ضخامت دال نباشد.	۷-۲-۱۵
	$40 < 40 \times 18$ O.K.		
	چون بتن دال و تیر از یک نوع می‌باشد	$\alpha = \frac{E_{cb}.I_b}{E_{cs}.I_s}$	
	بنابراین : $E_{cb} = E_{cs}$	چون بتن تیر و دال از یک نوع می‌باشند داریم:	
	و یا	$\alpha = \frac{I_b}{I_s} = \frac{b_w}{\ell}(\frac{h}{h_s})^3 \alpha_f$	
	$\frac{h}{h_s} = \frac{58}{18} = 3.22$		
دال ۱	$\frac{u}{h_s} = \frac{2 \times 30}{18} = 3.33$	در تیرهای لبه u دو برابر عرض تیر، و در تیرهای میانی u برابر عرض تیر می‌باشد.	
	برای $\frac{h}{h_s} = 3.22$ و $\frac{u}{h_s} = 3.33$ داریم:		
	$\alpha_f = 1.46$		
	$\ell = 0.5 \times 6.7 + 0.5 \times 0.4 = 3.55$ m	$\ell = 0.5\ell_2 + 0.5 \times c$	
	$\alpha = \frac{0.30}{3.55} \times (3.22)^3 \times 1.46$	$\alpha = \frac{b_w}{\ell}(\frac{h}{h_s})^3 \alpha_f$	
	$\alpha = 4.12 > 0.8$	در سه لبه دیگر به خاطر عدم وجود تیر لبه، مقدار α برابر صفر است.	
	$\alpha_m = \frac{1}{4}(4.12 + 0 + 0 + 0) = 1.03$	$\alpha_m = \frac{1}{4}(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4)$	۶-۴-۲-۱۴
		D2- محاسبه ضخامت دال در چشمه S2 برای افت در دالهایی که نسبت αm در آنها بزرگتر از ۰/۲ و کوچکتر از ۲ است طبق رابطه ۱۴-۵ :	
	$h = \frac{6(800 + 0.6 \times 300)}{36000 + 5000 \times 1.28(1.03 - 0.2)} = 0.142$	$h = \frac{\ell_n(800 + 0.6F_y)}{36000 + 5000\beta(\alpha_m - 0.2)}$	معادله ۱۴-۵

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
دال ۱	بنابراین ضخامت ۱۸ cm قابل قبول است. $\ell_n(2) = 6.7 - \frac{1.2}{2} - 0.525$ $\ell_n(2) = 5.575 \quad m$ $\ell_n(1) = 6.7 - 0.45 = 6.25 \quad m$ $\ell_n(EW) = \frac{5.575 + 6.25}{2} = 5.91$ $l_n(C) = 5.5 - \frac{1.2}{2} - \frac{0.4}{2} = 4.7 \quad m$ $\ell_n(D) = 5.5 - \frac{1.05}{2} - \frac{0.4}{2} = 4.775 \quad m$ $\ell_n(NS) = \frac{4.7 + 4.775}{2} = 4.74 \quad m$ $\beta = \frac{5.91}{4.74} = 1.25$ $\beta_s = 0.5$ $\frac{u}{h_s} = 3.33 \quad$ و $\quad \frac{h}{h_s} = 3.22$ $\ell = 0.5 \times 5.5 + 0.5 \times 0.4 = 2.95 \quad m$ برای $\frac{h}{h_s} = 3.22$ و $\frac{u}{h_s} = 3.33$ داریم: $\alpha_f = 1.46$ $\alpha = \frac{0.3}{2.95} \times (3.22)^3 \times 1.46 = 4.96 > 0.8$ $\alpha_m = \frac{1}{4}(4.96 + 0 + 0 + 0) = 1.24$ $h = \frac{5.91(800 + 0.6 \times 300)}{36000 + 5000 \times 1.25(1.24 - 0.2)} = 0.136$ بنابراین ضخامت ۱۸cm قابل قبول است.	$\ell = 0.5\,\ell_2 + 0.5\,C$ $\alpha = \frac{b_w}{\ell}(\frac{h}{h_s})^3 \alpha_f$ $\alpha_m = \frac{1}{4}(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4)$ در دالهایی که نسبت α_m در آنها بزرگتر ای ۰/۲ و کوچکتر از ۲ است طبق رابطه ۱۴-۵ : $h = \frac{\ell_n(800 + 0.6F_y)}{36000 + 5000\beta(\alpha_m - 0.2)}$	معادله ۱۴-۵

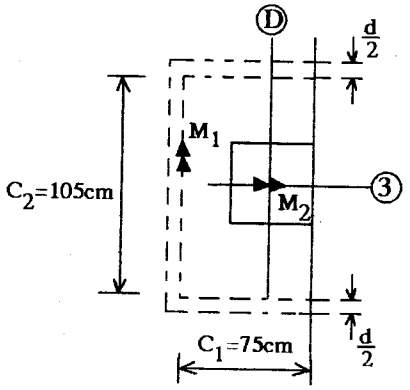
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	قابهای داخلی آکس‌های (B) و (C) دارای عرض l_2=6.7m و قابهای داخلی آکس‌های (2) و (3) و (4) دارای عرض l_2 = ۵/۵ m می‌باشند. عرض قابهای خارجی آکس‌های (A) و (D) به ترتیب برابر l_2 = ۳/۵۵ m و l_2 = ۳/۵۷۵m می‌باشند. عرض‌های فوق از خط مرکزی چشمه تا لبه خارجی دال در نظر گرفته شده‌اند. قابهای خارجی آکس‌های (1) و (5) به ترتیب دارای عرض l_2 = ۲/۹۵m و l_2 = ۲/۹۷۵m می‌باشند.	**گام سوم)** تقسیم سازه به قابهای طراحی در امتداد آکس ستون‌ها	
	قاب طراحی را در امتداد آکس (3) در نظر می‌گیریم و لنگرها را در جهت شرقی غربی محاسبه می‌نمائیم. برای دهانه A-B از آکس (3) داریم: $\ell_2 = 5.5$ m $\ell_{ln} = 6.7 - 0.2 - 0.6 = 5.9$ m $M_o = \frac{15.25 \times 5.5 \times 5.9^2}{8} = 365$ KN.m برای دهانه B-C از آکس (3) داریم: $\ell_2 = 5.5$ m $\ell_{ln} = 6.7 - 0.6 - 0.6 = 5.5$ m $M_o = \frac{15.25 \times 5.5 \times 5.5^2}{8} = 317.2$ KN.m برای دهانه C-D از آکس (3) داریم: $\ell_2 = 5.5$ m $\ell_{ln} = 6.7 - 0.6 - 0.525 = 5.575$ m $M_o = \frac{15.25 \times 5.5 \times 5.575^2}{8} = 325.9$ KN.m	**گام چهارم)** محاسبه لنگر استاتیکی کل M_o برای هر دهانه از قابهای طراحی $M_o = \frac{W_u . \ell_2 . \ell_{ln}^2}{8}$ تذکر: گام‌های ۴ تا ۶ مربوط به آکس (3) می‌باشند. محاسبات سایر آکس‌ها از گام ۷ شروع می‌شود.	۱۵-۷-۳-۱ معادله ۱۵-۸

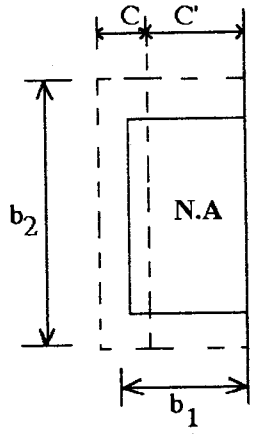
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام پنجم) محاسبه لنگرهای نهـایی در قـاب شـرقی غربـی آکس (3) تذکر: بخاطر متقارن بودن طرح، نتایج این قسمت در آکس‌هـای (2) و (4) نیـز کـاربرد دارد. ایـن موضوع در مورد قابهای شمالی جنوبی آکس‌های (B) و (C) نیز صادق است.	
		لنگرهای مربوط به اولین دهانه	۱۵-۷-۴-۲
	برای چشمه S2 داریم: گام چهارم $M_o = 365$ KN.m	لنگر در ستون خارجی $-M_e = 0.3 \quad M_o$	
	$-M_o = 0.3 \times 365 = 109.5$ KN.m		
		لنگر مثبت $+M_e = 0.5 \quad M_o$	
	$+M_e = 0.5 \times 365 = 182.5$ KN.m		
		لنگر در اولین ستون داخلی $-M_{ie} = 0.7 \quad M_o$	
	$-M_{ie} = 0.7 \times 365 = 255.5$ KN.m		
	برای چشمه S5 داریم: $M_o = 317.2$ KN.m	لنگرهای مربوط به دهانه میانی	۱۵-۷-۴-۱
	$-M = 0.65 \times 317.2 = 206.2$ KN.m	$-M = 0.65 \quad M_o$	
	$+M = 0.35 \times 317.2 = 111$ KN.m	$+M = 0.35 \quad M_o$	
	برای چشمه S8 داریم: $M_o = 325.9$ KN.m	لنگرهای مربوط به آخرین دهانه	۱۵-۷-۴-۲
	$-M_e = 0.26 \times 325.9 = 84.7$ KN.m	$-M_e = 0.26 \quad M_o$	
	$+M_e = 0.52 \times 325.9 = 169.5$ KN.m	$+M_e = 0.52 \quad M_o$	
	$-M_{ie} = 0.7 \times 325.9 = 228.1$ KN.m	$-M_{ie} = 0.7 \quad M_o$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام ششم) تقسیم لنگرهای نهایی قاب، محاسبه شده در گام پنجم بین نوار میانی و نوار ستونی A – تعیین مقدار لنگر خمشی منفی مربوط به نوار ستونی در تکیه‌گاه‌های کناری. در این قسمت قاب‌های شرقی غربی آکس‌های (2) و (3) و (4) را مد نظر قرار می‌دهیم. ستونهای کناری این قابها در آکس‌های (A) و (D) قرار دارند.	
	در آکس‌های (5) و (D) داریم: $\beta_t = 0$	A1- ستون D3 در آکس‌های (5) و (D) تیر لبه وجود ندارد. بنابراین نسبت سختی پیچشی مقطع تیر لبه به سختی خمشی عرضی از دال که برابر طول دهانه تیر است، برابر صفر می‌باشد ($\beta_t = 0$).	
	در آکس‌های (2) و (3) و (4) و (5) و (B) و (C) و (D) داریم: $\alpha_1 = 0$	در آکس‌هایی که تیر خمشی وجود ندارد نسبت سختی خمشی مقطع تیر به سختی خمشی نواری از دال که از طرفین به محورهای مرکزی چشمه‌های مجاور محدود شده است، در امتداد l_1، برابر صفر است ($\alpha_1 = 0$). اگر β_t برابر صفر باشد،تمام لنگر خمشی منفی به نوار ستونی می‌رسد.	
	سهم نوار ستونی از لنگر منفی برابر 84.7 KN.m می‌باشد. چون تیر خمشی در آکس (3) وجود ندارد، مقدار α_1 برابر صفر است ($\alpha_1 = 0$).	A2 – ستون A3	
	با توجه به قسمت D_1 از گام دوم داریم:  	به خاطر وجود تیر لبه در آکس (A) باید مقدار C مربوط به آن محاسبه گردد.	۲-۵-۶-۱۵
		$C = \frac{1}{3}\sum(1 - 0.63\frac{x}{y})x^3 y$	معادله ۱۵-۳

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	برای $x_1 = 30$ cm و $y_1 = 58$ cm داریم: $C_1 = 351900 \ cm^4$		
	برای $x_2 = 18$ cm و $y_2 = 40$ cm داریم: $C_2 = 55715 \ cm^4$ $C = 351900 + 55715 \ cm^4$ $C = 407615 \ cm^4$	$C = C_1 + C_2$	
	$I_s = \frac{550 \times 18^3}{12} = 267300 \ cm^4$	مقدار I_s برای نوار دال آکس (3) از فرمول زیر بدست می‌آید. $I_s = \frac{\ell_2 . h_s^3}{12}$	
	$\beta_t = \frac{407615}{2 \times 267300} = 0.76$ با توجه به جدول ۱۵-۶-۹-۲ برای $\beta_t = 0.76$ داریم: درصدسهم‌نوارستونی $= 100 - \frac{0.76}{2.5} \times (100 - 75) = 92.4$ بنابراین ۹۲/۴ درصد از لنگر منفی آکس (A) به نوار ستونی می‌رسد. $0.924 \times 109.5 = 101.2 \ KN.m$ لنگر مربوط به نصف نوار میانی برابر است با: $\frac{109.5 - 101.2}{2} = 4.15 \ KN.m$	$\beta_t = \frac{E_{cb} . C}{2 E_{cs} . I_s} = \frac{C}{2 I_s}$	۰-۱۵
	با توجه به جدول ۱۵-۶-۹-۲ برای $\alpha_1 = \frac{\ell_2}{\ell_1} = 0$ داریم: درصد سهم نوار ستونی = ۷۵ برای ستون B3 (در جهت شرقی غربی) مقدار لنگر منفی نوار ستونی (مربوط به چشمه S2) برابر است با : $0.75 \times 255.5 = 191.6 \ KN.m$	B – تعیین مقدار لنگر خمشی منفی مربوط به نوار ستونی در تکیه‌گاه‌های میانی	۲-۹-۶-۱۵

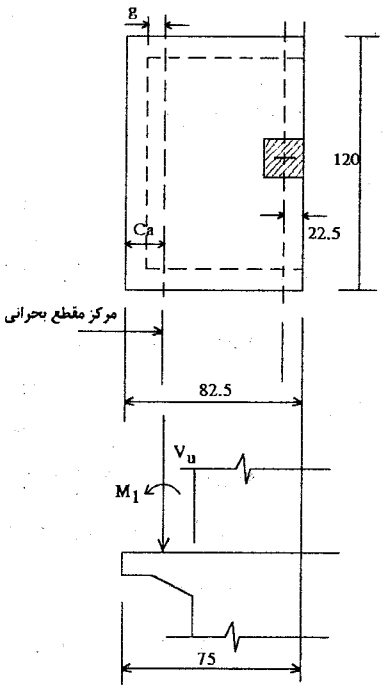
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	لنگر مربوط به نصف نوار میانی برابر است با : $\frac{255.5-191.6}{2}=31.95$ KN.m برای ستون C3 (در جهت شرقی غربی) مقدار لنگر منفی نوار ستونی (مربوط به چشمه S8) برابر است با: $0.75\times 228.1=171.1$ KN.m لنگر مربوط به نصف نوار میانی برابر است با : $\frac{228.1-171.1}{2}=28.5$ KN.m با توجه‌به‌جدول ۱۵-۶-۹-۲ برای $\alpha_1=\frac{\ell_2}{\ell_1}=0$ داریم: ۶۰ = درصد سهم نوار ستونی برای دهانه A3-B3 (چشمه S2) مقدار لنگر مثبت نوار ستونی برابر است با : $0.6\times 182.5=109.5$ KN.m لنگر مربوط به نصف نوار میانی برابر است با: $\frac{182.5-109.5}{2}=36.5$ KN.m برای دهانه B3-C3 (چشمه S5) مقدار لنگر مثبت نوار ستونی برابر است با : $0.6\times 111=66.6$ KN.m لنگر مربوط به نصف نوار میانی برابر است با: $\frac{111-66.6}{2}=22.2$ KN.m برای دهانه C3-D3 (چشمه S8) مقدار لنگر مثبت نوار ستونی برابر است با : $0.6\times 169.5=101.7$ KN.m لنگر مربوط به نصف نوار میانی برابر است با: $\frac{169.5-101.7}{2}=33.9$ KN.m	C – تعیین مقدار لنگر خمشی مثبت مربوط به نوار ستونی در دهانه‌های کناری و میانی D – جمع‌بندی لنگرهای خمشی نهایی مربوط به نوار ستونی و کل نوار میانی	۱۵-۶-۹-۲

جداول کمکی	محاسبات			روش	بند آیین‌نامه
	لنگر کل نوار میانی	لنگر نوار ستونی	چشمه و لنگر	در تکیه‌گاه‌های میانی، دو مقدار برابر لنگر منفی تکیه‌گاهی بدست آمده است. مقدار بزرگتر را در جدول قرار داده‌ایم.	
			چشمه S2		
	813	101.2	$-M_e$		
	73	109.5	$+M_e$		
	63.9	191.6	$-M_{ie}$		
			چشمه S5		
	63.9	191.6	$-M$		
	44.4	66.6	$+M$		
	57	171.1	$-M$		
			چشمه S8		
	57	171.1	-Mie		
	67.8	101.7	$+M_e$		
	0	84.7	$-M_e$		
				تذکر ۱ : در محاسبات مربوط به آکس‌های (A) و (1) به این نکته توجه شود که آنها دارای تیر خمشی هستند و $\alpha_1 > 0$ می‌باشد. تذکر ۲: در نوارهای میانی (حتی در قسمت‌هایی که ۱۰۰٪ لنگر خمشی به نوار ستونی می‌رسد) باید فولادگذاری حداقل انجام شود.	
	گام هفتم در این مثال انجام نشده است.			**گام هفتم)** تکرار گام‌های چهارم تا ششم برای بقیه آکس‌ها	
	در این مثال ستون‌های داخلی به علت بحرانی نبودن، مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. در ستون D3 داریم: 			**گام هشتم)** کنترل ضخامت دال برای انتقال برش و لنگر در این قسمت کلیه ستونهایی که ممکن است بحرانی باشند، مورد بررسی قرار می‌گیرند. A- محاسبه لنگر در ستون‌های داخلی B- محاسبه سهمی از لنگر خمشی که به صورت نیروی برشی از مرکز به دال اطراف ستون منتقل می‌گردد، و مشخصات مقطع بحرانی برای برش.	۴-۷-۱۵ ۲-۶-۷-۱۵ ۱-۵-۱۷-۱۲

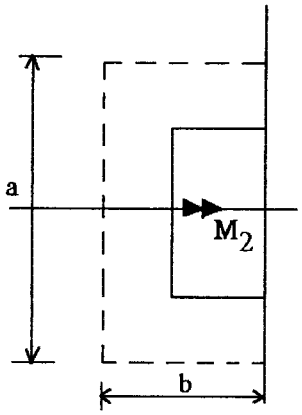
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		B1 – محاسبه M_{uv}	
	$M_{uv} = (1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{75 + (15)/2}{105 + 15}}})M_u$	$M_{uv} = (1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{c_1 + d}{c_2 + d}}})M_u$	معادله ۱۲-۲۴
		برای ستون‌های کناری عبارت (c_1+d) تبدیل به $(c_1 + \frac{d}{2})$ می‌شود.	
	$M_{uv} = 0.356\ M_u = 0.356 \times 84.7$ $M_{uv} = 30.15\ \ KN.m$		
		B2 – محاسبه مشخصات مقطع بحرانی برای ستون‌های کناری، در حالتی که خمش در جهت عمود بر لبه دال است داریم:	
			
	$b_1 = 75 + \frac{15}{2} = 82.5 \quad cm$ $b_2 = 105 + 15 = 120 \quad cm$ $C = \frac{82.5^2}{2 \times 82.5 + 120} = 23.88 \quad cm$ $A_c = (2 \times 82.5 + 120) \times 15 = 4275 \ cm^2$ $\frac{I}{c} = [2 \times 82.5 \times 15(82.5 + 2 \times 120) + 15^3$ $\times (2 \times 82.5 + 120)/(82.5)]/6$ $\frac{I}{c} = 134974 \quad cm^3$ $c' = 82.5 - 23.88 = 58.62$ $\frac{I}{c'} = 134974 \times \frac{23.88}{58.62} = 54984 \quad cm^3$	$b_1 = c_1 + \frac{d}{2}$ $b_2 = c_2 + d$ $C = \frac{b_1^2}{2b_1 + b_2}$ $A_c = (2_{b1} + b_2)\, d$ $\frac{I}{c} = [2b_1 d(b_1 + 2b_2) + d^3$ $(2b_1 + b_2)/b_1]/6$ $c' = b_1 - c$ $\frac{I}{c'} = (\frac{I}{c})(\frac{c}{c'})$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		C محاسبه آرماتورهای لازم برای خمش در ستون کناری	۱۵-۷-۴-۶
		طبق بند ۱۵-۷-۴-۶ آرماتورهای موجود در نوار ستون بیاید بتوانند کل لنگر این نوار به ستون منتقل کنند. با فرض $j = 0.95$ داریم:	۱۵-۴-۳
	برای ستون آکس D3 داریم: $M_u = -M_e = 84.7 \ KN.m$	$A_s = \frac{M_u}{\phi_s . f_y . j.d}$	
	$A_s = \frac{84.7 \times 10^{-3}}{0.85 \times 300 \times 0.95 \times 0.15}$ $A_s = 2.33 \times 10^{-3} \ m^2$ و یا $A_s = 23.3 \ cm^2$	حال مقدار j فرض شده را کنترل می‌کنیم. $a = \frac{\phi_s A_s f_y}{0.85 \phi_c f_c b}$	
	$a = \frac{0.85 \times 23.3 \times 300}{0.85 \times 0.6 \times 20 \times (\frac{550}{2})}$ $a = 2.12 \ cm$	$j = 1 - \frac{a}{2d}$	
	$j = 1 - \frac{2.12}{2 \times 15} = 0.93 \approx 0.95$ O.K.	با فرض استفاده از $\phi 16 (A_b = 2.01 cm^2)$ تعداد میلگردها و فاصله آنها را محاسبه می‌کنیم.	
	تعداد میلگردها = $\frac{23.3}{2.01} = 11.59$ بنابراین از ۱۲ میلگرد استفاده می‌کنیم.		
	فاصله بین میلگردها = $\frac{275}{12} = 22.9 \ cm$		
	$2h_s = 2 \times 18 = 36 \ cm > 22.9$ O.K.	فاصله میلگردهای خمشی نباید از دو برابر ضخامت دال و ۳۵۰ میلیمتر تجاوز کند.	۱۵-۵-۱-۲
		سپس دال را برای لنگر خمشی M_{uf} کنترل می‌کنیم. این لنگر توسط عرضی از دال که به دو مقطع به فواصل ۱/۵ برابر ضخامت دال یا ضخامت کتیبه دال از بر خارجی ستون در دو سمت آن محدود است، تحمل می‌شود.	۱۵-۴-۳

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$M_{uf} = 84.7 - 30.15 = 54.55$ KN.m $b = 105 + 2 \times (1.5 \times 18) = 159$ cm	$M_{uf} = M_u - M_{uv}$ عرض موثر = $c_2 + 2\,(1.5h_s)$	
	$A_s = \frac{54.55 \times 10^{-3}}{0.85 \times 300 \times 0.95 \times 0.15} = 1.5 \times 10^{-3}\,m^2$ و یا $As = 15\ cm^2$	با فرض $j = 0.95$ داریم: $A_s = \frac{M_{uf}}{\phi_s . f_y . j . d}$	
	$a = \frac{0.85 \times 15 \times 300}{0.85 \times 0.6 \times 20 \times 159} = 2.36$ cm $j = 1 - \frac{2.36}{2 \times 15} = 0.92 \approx 0.95$ O.K.	حال مقدار j فرض شده را کنترل می‌کنیم. $a = \frac{\phi_s A_s f_y}{0.85 \phi_c f_c b}$ $j = 1 - \frac{a}{2d}$	
	تعداد میلگردها = $\frac{158}{2.01} = 7.46$ بنابراین : USE 8 Φ 16 بنابراین باید ۸ میلگرد 16 Φ در عرض ۱۵۹ سانتیمتر قرار گیرد و 2Φ16 در هر طرف از ناحیه فوق قرار داده شود، بطوریکه مجموع میلگردها برابر ۱۲ عدد گردد.	بنابراین استفاده از $\phi 16 (A_b = 2.01 cm^2)$ تعداد میلگردها را محاسبه می‌کنیم.	
	$M_n = 0.85 \times (12 \times 2.01 \times 10^{-4}) \times 300 \times 0.95 \times 0.15 \times 10^{3} = 87.6$ KN.m	لنگر مقاوم مقطع برابر است با: $M_n = \phi_s . A_s . f_y . j . d$	
		D- محاسبه تنش برشی کل Vu و مقایسه آن با حداکثر مقدار قابل قبول V_c $V_u = \frac{V_u}{A_c} + \gamma_{v1} \frac{M_1 C_1}{I_1} + \gamma_{v2} \frac{M_2 C_2}{I_2}$ γ_v = کسری از لنگر است که بصورت برشی انتقال می‌یابد.	۱۵-۱۸-۵ و ۱۲-۱۷-۲-۴

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		$v_{c1} = (1 + \frac{2}{\beta_c})0.2\phi_c\sqrt{f_c}$	معادله ۱۲-۳۴
		$v_{c2} = (\frac{\alpha_s . d}{b_o} + 1)0.2\phi_c\sqrt{f_c}$	معادله ۱۲-۳۵
		$v_{c3} = 2 \times 0.2\phi_c\sqrt{f_c}$	معادله ۱۲-۳۶
		$v_c = \min(V_{c1}, V_{c2}, V_{c3})$	
	از گام دوم $W_u = 15.25$ KN/m^2	D1 – در این قسمت لنگر خمشی شمالی جنوبی M_2 نادیده گرفته شده است. البته چون طول دهانه چشمه‌های دو طرف ستون D3 برابر می‌باشند، مقدار لنگر فوق ناچیز است.	
	$M_n = 87.6$ KN/m	در این مرحله برش و لنگر در مرکز مقطع بحرانی محاسبه می‌شود.	
	$-M_{ie} = 171.1$ KN/m		
	$V_u = 15.25 \times [(5.5 \times \frac{6.7}{2}) - 1.2 \times (0.825 - 0.225)]$ $+ 0.225 \times (5.5 - 1.2) \times (1.25 \times 5)\frac{171.1 - 87.6}{6.7 - 1.125})$ $V_u = 261.1$ KN		
	$C_a = \frac{2 \times 0.5 \times 82.5^2}{2 \times 82.5 + 120} = 23.88$cm	$M_1 = M_n + V_u g$	
	$g = 75\text{-}(82.5\text{-}23.88) - 16.38$ cm	با توجه به قسمت B1 از همین گام داریم:	
	$M_1 = 87.6 + 261.1 \times 0.1638 = 130.4$ KN.m	$M_v = 0.356\ M_1$	
	$M_v = 0.356 \times 130.4 = 46.4$ KN.m	$V_{u1} = \frac{V_u}{A_c} + M_v / (\frac{I}{c})$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$v_{u1}=\frac{261.1\times10^{-3}}{4275\times10^{-4}}+\frac{46.4\times10^{-3}}{134974\times10^{-6}}$ $v_{u1}=0.95$ MPa	تذکر: اگر آرماتورهای خمشی بیشتری در ناحیه فوق بکار روند، باید افزایش مقدار لنگر خمشی M_u را در محاسبات منظور نمود. حال باید تنش برشی ناشی از وزن دیوار خارجی را محاسبه کرد.	
	$v_w=(5.5-1.2)\times1.25\times5.9=31.7$ KN	$v_{u2}=\frac{V_w}{2\times(0.75+d/2)d}$	
	$v_{u2}=\frac{31.7\times10^{-3}}{2\times(0.75\times0.075)\times0.15}=0.13$ MPa	$V_u=V_{u1}+V_{u2}$	
	$v_{u2}=0.95+0.13=1.08$ MPa	محاسبه Vc به صورت زیر انجام می‌شود.	
	$\beta_c=\frac{120}{82.5}=1.45$		
	$b_o=1.2+0.825\times2=2.85$ m		
	$v_{c1}=(1+\frac{2}{1.45})\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}$	$v_{c1}=(1+\frac{2}{\beta_c})\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}$	معادله ۱۲-۳۴
	$v_{c1}=2.38\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}$		
	$v_{c2}=(\frac{15\times0.15}{2.85}+1)\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}$	$v_{c2}=(\frac{\alpha_s.d}{b_o}+1)\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}$	معادله ۱۲-۳۵
	$v_{c2}=1.79\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}$		
	$v_{c3}=2\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}$	$v_{c3}=2\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}$	معادله ۱۲-۳۶
	$v_c=v_{c2}=1.79\times0.2\times0.6\times\sqrt{20}$	$v_c=\min(v_{c1}\,.\,v_{c2}\,.\,v_{c3})$	
	$v_c=0.96$ MPa		
	همانطور که ملاحظه می‌شود دال فوق حدود ۱۲٪ برای تحمل برش ضعیف است. علت این مسئله وجود دیوار سنگین خارجی روی دال بدون تیر لبه است. با در نظر گرفتن تیر در زیر دیوارهای فوق و یا استفاده از دیوارهای سبک می‌توان این مشکل را حل نمود.	D2– محاسبه تنش برشی ناشی از لنگر خمشی M_2	۱۵-۷-۶-۲
	$W_d=W'_d=1.25\,(0.7+0.18\times24)$ $=6.275$ KN/m^2	$M_2=0.07\,[(W_d+0.5W_l)\,\ell_2\,L^2_{in}-W'_d\,\ell'_2\,\ell'^2_{in}]$	معادله ۱۵-۹

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$W_1 = 1.5 \times 6 = 9 \ \ KN/m^2$ $l_2 = l'_2 = \frac{6.7}{2} = 3.35 \ \ m$ $\ell_{in} = \ell'_{in} = 5.5 - 1.05 = 4.45 \ \ m$ $M_2 = 0.07[(6.275+0.5\times9)\times3.35\times4.45^2$ $- 6.275 \times 3.35 \times 4.45^2] = 20.9 \ \ KN.m$	برای ستون‌های کناری در حالتی که خمش در جهت لبه دال است داریم:  $b_1 = c_1 + \frac{d}{2}$ $a = c_2 + d$ $\frac{I}{c} = [ad(a+6b) + d^3]/6$ $v_{u2} = M_2 / (\frac{I}{c})$	
	$b_1 = 75 + \frac{15}{2} = 82.5 \ \ cm$ $a = 105 + 15 = 120 \ \ cm$ $\frac{I}{c} = [120\times15(120+6\times82.5) + 15^3]/6$ $= 185063 \ \ cm^3$ $v_{u2} = \frac{20.9\times10^{-3}}{185063\times10^{-6}} = 0.11 \ \ MPa$ همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار v_{u2} قابل توجه نیست. با در نظر گرفتن v_{u2} در محاسبه تنش برشی کل خواهیم داشت: $v_u = 1.08 + 0.11 = 1.19 \ \ MPa$ چون v_u بیشتر از v_c شده است ضخامت دال را باید افزایش داد و این کنترل را مجدداً انجام داد.		
		گام نهم) آرماتورگذاری سایر قسمت های دال	
		گام دهم) طراحی تیرهای لبه	

مثال ۲ طرح دال دو طرفه و دارای تیر به روش مستقیم

دال دو طرفه و دارای تیر صفحه بعد را ، با توجه به بارهای وارده طرح نمائید.

مشخصات :

بار زنده = 6 KN/m^2

بار کف سازی = 0.7 KN/m^2

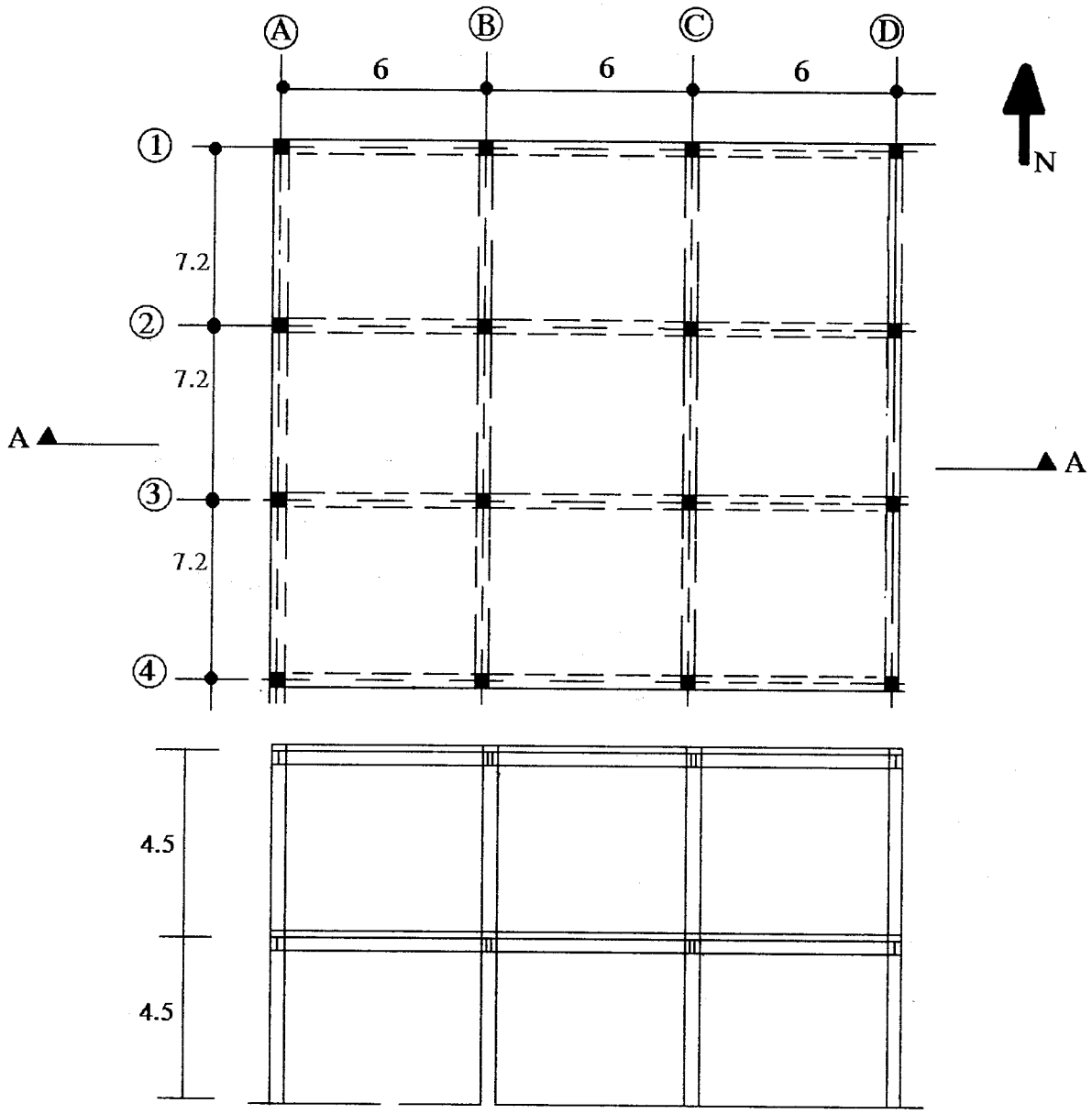
بار دیوارهای خارجی = 5.9 KN/m

f_c = 20 MPa

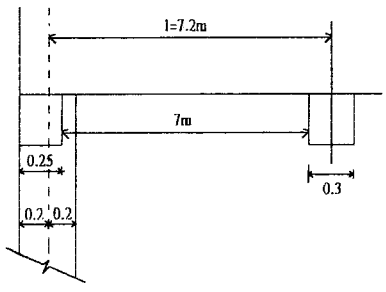
f_y = 300 MPa

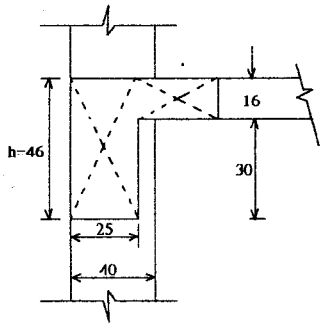
ابعاد ستونهای زیر و روی دال = 40×40 cm^2

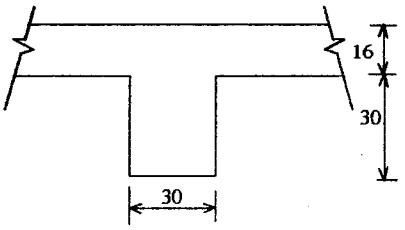
ارتفاع کف تا کف طبقات = 4.5 m



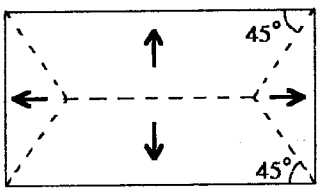
SECTION A-A

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	ضوابط: بندهای ۱۵-۷-۱-۲ تا ۱۵-۷-۱-۶ همانند مثال ۱ ارضاء می‌شوند. تیرها نیز طوری طراحی می‌شوند که محدودیت بند ۱۵-۷-۱-۷ رعایت شود. بنابراین می‌توان از روش مستقیم استفاده کرد.	**گام اول)** کنترل هندسه و بارگذاری دال برای استفاده از روش مستقیم	۱۵-۷-۱
	برای اینکه حداقل ۲ میلگرد بتوانند در یک لایه قرار گیرند، عرض‌های زیر را انتخاب می‌کنیم. برای تیرهای لبه. b = 25 cm برای تیرهای میانی. b = 30 cm	**گام دوم)** انتخاب ضخامت دال A- انتخاب ضخامت دال با توجه به افت. با توجه به مثال ۱ و از آنجا که تمام چشمه‌ها هم‌اندازه‌هستند، پانل‌های گوشه برای تعیین ضخامت بحرانی‌ترند. علت این است که β_s در آنها کمترین مقدار را دارد (β_s=0.5) و مخرج فرمول مربوط به تعیین ضخامت دال (h) حداقل می‌شود. A1- انتخاب عرض تیرهای لبه و تیرهای میانی 	۱۴-۲-۴-۶

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$\ell_n(NS) = 7.2 - 0.15 - 0.05 = 7 \quad m$ $\ell_n(EW) = 6 - 0.15 - 0.05 = 5.8 \quad m$	A2 – محاسبه l_n چشمه گوشه در هر دو جهت.	
		A3– انتخاب ضخامت دال	
	$\beta = \frac{l_n(NS)}{l_n(EW)} = \frac{7}{5.8} = 1.21$	نسبت طول دهانه خالص بزرگتر به کوچکتر =β	
	$\beta_s = 0.5$	نسبت طول لبه پیوسته به کل محیط پانل =β_s	
	$\alpha_m = 2$	متوسط α برای تمام تیرهای پیرامونی = α_μ	معادله ۱۴-۶
	$h = \frac{6(800 + 0.6 \times 300)}{36000 + 9000 \times 1.21} = 0.146$	$h = \frac{\ell_n(800 + 0.6f_y)}{36000 + 9000\beta}$	
	ضخامت دال را برابر ۱۶ سانتیمتر فرض می‌کنیم.		۱۵-۶-۹-۲
	برای تیرهای لبه داریم :		
	$h = h_s + 30 = 16 + 30 = 46 \text{ cm}$	تذکر : طراح در این مرحله می‌تواند هر ارتفاعی را برای تیر در نظر بگیرد (با توجه به بند ۱۴-۲-۴-۳ از آیین‌نامه) اما اگر در مراحل بعد لازم شود که ارتفاع تیرها را تغییر دهد، لنگرهای محاسبه شده در گام هفتم عوض خواهند شد.	
		البته اگر مقدار $\alpha_1 = \frac{\ell_2}{\ell_1}$ در این مرحله بزرگتر از یک باشد افزایش ابعاد تیر در مراحل بعد تاثیری در لنگرهای محاسبه شده در گام هفتم نخواهد داشت.	
	$b = 25 \text{ cm} \quad u = 2b = 50 \text{ cm}$		
	حال عرض دال l را در هر دو جهت محاسبه می‌کنیم.		
	برای تیر شمالی جنوبی داریم:		
	$\ell = \frac{6}{2} + \frac{0.4}{2} = 3.2 \quad m$		
	برای تیر شرقی غربی داریم:		
دال ۱	$\ell = \frac{7.2}{2} + \frac{0.4}{2} = 3.8 \quad m$		
	$\frac{u}{h_s} = \frac{50}{16} = 3.125$ و $\frac{h}{h_s} = \frac{46}{16} = 2.875$ برای		
	داریم:		
	$\alpha_f = 1.46$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$\alpha_{NS} := \frac{0.25}{3.2} \times (\frac{0.46}{0.16})^3 \times 1.4 = 2.6 > 0.8$ $\alpha_{EW} = \frac{0.25}{3.8} \times (\frac{0.46}{0.16})^3 \times 1.4 = 2.19 > 0.8$ بنابراین نیازی به افزایش ضخامت دال به اندازه ۱۰ درصد نمی‌باشد. برای تیرهای داخلی داریم: $h = h_s + 30 = 16 + 30 = 46 \ cm$ حال عرض دال l را در هر دو جهت محاسبه می‌کنیم. برای تیر شمالی جنوبی داریم: $\ell = \ell_2 := 6 \ m$ برای تیر شرقی غربی داریم: $\ell = \ell_2 := 7.2 \ m$ $b = 30 \ cm \quad , \quad u = b = 30 \ cm$ برای $\frac{u}{h_s} = \frac{30}{16} = 1.875$ و $\frac{h}{h_s} = \frac{46}{16} = 2.875$ داریم: $\alpha_f = 1.58$ $\alpha_{NS} := \frac{0.3}{6} \times (\frac{46}{16})^3 \times 1.58 = 1.88$ $\alpha_{EW} = \frac{0.3}{7.2} \times (\frac{46}{16})^3 \times 1.58 = 1.56$ برای جهت شمالی جنوبی داریم: $\alpha_1 \frac{\ell_2}{\ell_1} = 1.88 \times \frac{6}{7.2} = 1.57 > 1$ برای جهت شرقی غربی داریم: $\alpha_1 \frac{\ell_2}{\ell_1} = 1.56 \times \frac{7.2}{6} = 1.87 > 1$	مقدار α در حالتی که $E_{cb}=E_{cs}$ باشد برابر است با: $\alpha = \frac{b_w}{\ell}(\frac{h}{h_s})^3 \alpha_f$ 	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	بنابراین افزایش ابعاد تیر مقدار لنگر خمشی نوار ستونی را تغییر نمی‌دهد.	A5 - کنترل ضخامت دال با توجه به مقدار α_m	
	برای چشمه گوشه داریم:		
	$\beta = 1.21$ (قسمت A3)		
	$\ell_n = 7\ m$ (قسمت A1)		
	$\alpha_m = (2.6 + 2.19 + 1.88 + 1.56)/4 = 2.06$	در قسمت A3 برای کنترل اولیه ضخامت چشمه گوشه، مقدار α_m را برابر ۲ در نظر گرفته بودیم که به مقدار واقعی آن (۲/۰۶) نزدیک می‌باشد. بنابراین ضخامت این چشمه کافی است.	
	$\ell_n(NS) = 7.2 - 0.15 - 0.15 = 6.9\ \ m$		
	$\ell_n(EW) = 6 - 0.15 - 0.15 = 5.7\ \ m$		
	$\alpha_m = 2(1.88 + 1.56)/4 = 1.72$		
	$\beta = \frac{6.9}{5.7} = 1.21$		
	$\beta_s = 1$		
	$h = \frac{6.9(800 + 0.6 \times 300)}{36000 + 5000 \times 1.21(1.72 - 0.2)} = 0.15$	$h = \frac{l_n(800 + 0.6F_y)}{36000 + 5000\beta(\alpha_m - 0.2)}$	معادله ۱۴-۵
	بنابراین ضخامت ۱۶ سانتیمتر برای این چشمه مناسب است.		
	برای چشمه لبه در حالتی که یکی از اضلاع بلندتر آن ناپیوسته است داریم:		
	$\ell_n(NS) = 7.2 - 0.15 - 0.15 = 6.9\ \ m$		
	$\ell_n(EW) = 6 - 0.15 - 0.05 = 5.8\ \ m$		
	$\beta = \frac{6.9}{5.8} = 1.19$		
	$\beta_s = \frac{2 \times 6 + 7.2}{2 \times 6 + 2 \times 7.2} = 0.73$		
	$\alpha_m = (1.88 + 1.56 + 1.56 + 2.6)/4 = 1.9$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$h=\frac{6.9(800+0.6\times300)}{36000+5000\times1.19(1.9-0.2)}=0.146$ بنابراین ضخامت ۱۶ سانتیمتر برای این چشمه مناسب است. برای چشمه لبه در حالتی که یکی از اضلاع کوتاه‌تر آن ناپیوسته است داریم: $\ell_n(NS)=7.2-0.15-0.05=7 \quad m$ $\ell_n(EW)=6-0.15-0.15=5.7 \quad m$ $\beta=\frac{7}{5.7}=1.23$ $\beta_s=\frac{2\times7.2+6}{2\times7.2+2\times6}=0.77$ $\alpha_m=(1.56+1.88+1.88+2.19)/4=1.88$ $h=\frac{7(800+0.6\times300)}{36000+5000\times1.23(1.88-0.2)}=0.148$ بنابراین ضخامت ۱۶ سانتیمتر برای چشمه مناسب است.	$h=\frac{\ell_n(800+0.6F_y)}{36000+5000\beta(\alpha_m-0.2)}$	معادله ۱۴-۵
		B- کنترل ضخامت دال برای برش به خاطر اینکه $\alpha_1\frac{\ell_2}{\ell_1}\geq1$ است، برش به تیرهای پیرامون چشمه‌ها منتقل می‌شود. نحوه انتقال برش به تیرها در شکل زیر نمایش داده شده است.  	۱۲-۳ و ۱۲-۱۷ ۱۵-۷-۷-۱

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		از آنجا که بیشترین مقدار بار در جهت کوچکتر حرکت می‌کند و حداکثر برش در لبه اولین تکیه‌گاه داخلی به وجود می‌آید، برش نهایی نواری به عرض واحد در جهت کوچکتر را می‌توان تقریباً برابر با مقدار زیر گرفت:	
	$W_D = 0.7 + 0.16 \times 24 = 4.54 \quad KN/m^2$ $W_L = 6 \quad KN/m^2$ $W_u = 1.25 \times 4.54 + 1.5 \times 6 = 14.675 \quad KN/m^2$ $V_u = 1.15 \times \frac{14.675 \times 5.8}{2}$ $V_u = 48.9 \quad KN/m \text{ of width}$	$V_u = 1.5 \frac{w_u \ell_n}{2}$	۱-۹-۳-۱۰
	$V_c = 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} \times 1 \times 0.13 \times 10^3$ $V_u = 69.77 \text{ KN/m of width}$ چون Vc > Vu می‌باشد ضخامت دال برای تحمل برش کافی است.	مقاومت برشی بتن برابر است با: $V_c = 0.2\phi_c \sqrt{f_c}$	۱-۱-۳-۱۲
	قابهای داخلی آکس‌های (B) و (C) دارای عرض l_2=6 m و قابهای داخلی آکس‌های (2) و (3) دارای عرض l_2 =۷/۲ m می‌باشند. عرض قابهای خارجی آکس‌های (A) و (D) به ترتیب برابر l_2 = ۳/۲ m می‌باشند. عرض‌های فوق از خط مرکزی چشمه تا لبه خارجی دال در نظر گرفته شده‌اند. قابهای خارجی آکس‌های (1) و (4) دارای عرض l_2 = ۳/۸m می‌باشند.	**گام سوم)** تقسیم سازه به قابهای طراحی در امتداد آکس ستون‌ها	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام چهارم)	
		محاسبه لنگر استاتیکی کل M_o برای هر دهانه از قابهای طراحی	۱۵-۷-۳-۱
		$M_o = \frac{W_u . \ell_2 . \ell_{ln}^2}{8}$	معادله ۱۵-۸
		A- محاسبه بار نهایی سقف بدون در نظر گرفتن وزن قسمت بیرون زده از سقف تیر	
	با توجه به قسمت B از گام دوم داریم: $W_D = 4.54 \ KN/m^2$ و $W_L = 6 \ KN/m^2$ $W_u = 14.675 \ KN/m^2$ و		
		تذکر: وزن قسمت بیرون زده از سقف تیر و لنگر ناشی از آن در گام نهم محاسبه می‌شوند.	
		B – محاسبه لنگر M_o	۱۵-۷-۳
	قاب طراحی را در امتداد آکس (2) و (3) در نظر می‌گیریم و لنگرها را در جهت شرقی غربی ،محاسبه می‌نمائیم.		
	برای دهانه AB و CD داریم: $\ell_{n\,(AB)} = \ell_{n\,(CD)} = 6 - 0.15 - 0.05 = 5.8 \ m$ $l_2 = 7.2 \ m$ $M_o = \frac{14.675 \times 7.2 \times 5.8^2}{8} = 444.3 \ KN.m$		
	برای دهانه BC داریم: $\ell_{n\,(BC)} = 6 - 0.15 - 0.15 = 5.7 \ m$ $M_o = \frac{14.675 \times 7.2 \times 5.7^2}{8} = 429.1 \ KN.m$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام پنجم) محاسبه لنگرهای نهـایی در قـاب شـرقی غربـی آکس (2) لنگرهای مربوط به دهانه کناری	۱۵-۷-۴-۲
	برای دهانه AB ، CD داریم: $M_o = 444.3$ KN.m $-M_o = 0.16 \times 444.3 = 71.1$ KN.m $+M_e = 0.57 \times 444.3 = 253.3$ KN.m $-M_{ie} = 0.7 \times 444.3 = 311$ KN.m	لنگر در ستون خارجی $-M_e = 0.16 \ M_o$ لنگر مثبت $+M_e = 0.57 \ M_o$ لنگر در اولین ستون داخلی $-M_{ie} = 0.7 \ M_o$	
	برای چشمه BC داریم: $M_o = 429.1$ KN.m $-M = 0.65 \times 325.9 = 278.9$ KN.m $+M = 0.35 \times 317.2 = 150.2$ KN.m	لنگرهای مربوط به دهانه میانی $-M = 0.65 \ M_o$ $+M = 0.35 \ M_o$	۱۵-۷-۴-۱
	با توجه به قسمت A4 از گام دوم داریم: $\alpha_1 \frac{\ell_2}{\ell_1} = 1.87$ برای قابهای آکس (2) و (3) نسبت $\frac{\ell_2}{\ell_1}$ داریم: $\frac{\ell_2}{\ell_1} = \frac{7.2}{6} = 1.2$	**گام ششم)** تقسیم لنگرهای نهایی قاب محاسبه شده در گـام پنجم بین نوار میانی و نوار ستونی A – تعیین مقدار لنگر خمشی منفی مربـوط بـه نوار ستونی در تکیه‌گاه‌های میانی. B – تعیین مقدار لنگر خمشی مثبت مربـوط بـه نوار ستونی در دهانه‌های کناری و میانی	۱۵-۶-۹-۲

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	با توجه به جدول ۱۵-۶-۹-۲ برای $\alpha_1 \frac{\ell_2}{\ell_1} = 1.87$ و $\frac{\ell_2}{\ell_1} = 1.2$ داریم: درصد سهم نوار ستونی = % 69	C – تعیین مقدار لنگر خمشی منفی مربوط به نوار ستونی در تکیه‌گاه‌های کناری	
	با این فرض که $E_{cs} = E_{cb}$ داریم: $\beta_t = \frac{C}{2I_s}$	$\beta_t = \frac{E_{cb}.C}{2E_{cs}.I_s}$	۱۵-۰
	برای $x_1 = 25$ cm و $y_1 = 46$ cm داریم: $C_1 = 157552$ cm^4	$C = \frac{1}{3}\sum(1 - 0.63\frac{x}{y})x^3y$	۱۵-۶-۵-۲
	برای $x_2 = 16$ cm و $y_2 = 30$ cm داریم: $C_1 = 27197$ cm^4	تذکر: با توجه به قسمت A4 از گام دوم مقدار y_2 برابر کوچکترین دو مقدار زیر است: 30 cm , $16 \times 4 = 64$ cm $C = c_1 + c_2$	۱۵-۲-۷
	$C = 157552 + 27197$ $C = 184749$ cm^4 با توجه به قسمت B2 از گام ششم داریم: $I_s = 245760$ cm^4 $\beta_t = \frac{C}{2I_s} = \frac{184749}{2 \times 245760} = 0.376$		
	با توجه به جدول ۱۵-۶-۹-۲ برای $\alpha_1 \frac{\ell_2}{\ell_1} = 1.87$ و $\frac{\ell_2}{\ell} = 1.2$ و $\beta_t = 0.376$ داریم: درصد سهم نوار ستونی = % 95.5 $\alpha_1 \frac{\ell_2}{\ell_1} = 1.87 > 1$ بنابراین ۸۵٪ از لنگر نوار ستونی به تیر می‌رسد.	D – تعیین سهمی از لنگر خمشی نوار ستونی که به تیر می‌رسد. چنانچه $\alpha_1 \frac{\ell_2}{\ell_1}$ حداقل مساوی با یک باشد، ۸۵ درصد از لنگر خمشی در نوار ستونی، متعلق به تیر است. در صورتی که $\alpha_1 \frac{\ell_2}{\ell_1}$ کوچکتر از یک	۱۵-۶-۹-۳ الف

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه

پخش لنگرهای خمشی در قاب‌های طراحی مربوط به آس‌های (2) و (3)

لنگرهای خمشی (KN.m)		مجموع لنگرهای خمشی نوارهای ستون و میانی	درصد لنگر خمشی مربوط به نوار ستونی	لنگر خمشی نوار ستونی	لنگر خمشی تیر	لنگر خمشی دال	
						لنگر خمشی دال نوار ستونی	لنگر خمشی دال نوار میانی
دهانه‌های کناری	- Me + Me - Mie	۷۱/۱ ۲۵۳/۳ ۳۱۱	۹۵/۵ ۶۹ ۶۹	۶۷/۹ ۱۷۴/۸ ۲۱۴/۶	۵۷/۷ ۱۴۸/۶ ۱۸۲/۴	۱۰/۲ ۲۶/۲ ۳۲/۲	۳۱۲ ۷۸/۵ ۹۶/۴
دهانه‌های میانی	- M + M	۲۷۸/۹ ۱۵۰/۲	۶۹ ۶۹	۱۹۲/۴ ۱۰۳/۶	۱۶۳/۵ ۸۸/۱	۲۸/۹ ۱۵/۵	۸۶/۵ ۴۶/۶

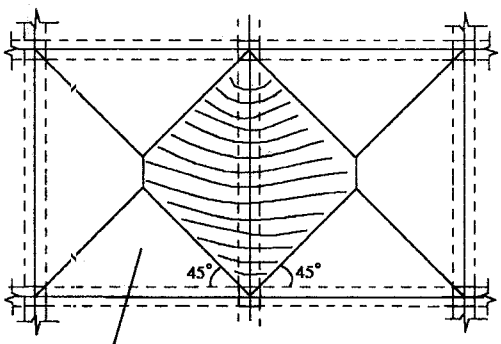
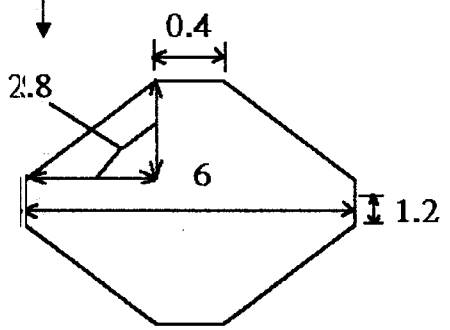
تذکر : با توجه به اینکه فقط مدها وجود دارد از Mie– به عنوان لنگر دهانه‌های میانی استفاده می‌شود و M– به کار برده نمی‌شود.

تذکر: با توجـه بـه اینکـه فقـط ؟ وجـود دارد از M_{ie}– بـه عنوان لنگر دهانه‌های میانی استفاده می‌شود و M– به کار برده نمی‌شود.

باشد سهم تیر با درون یابی خطی بین ۸۵ درصد و صفر برای $\alpha_1 \frac{\ell_2}{\ell_1}$ به ترتیب برابر با یک و صفر بدست می‌آید.

E – محاسبه لنگرهای خمشی تیر و نوار ستونی و نوار میانی.

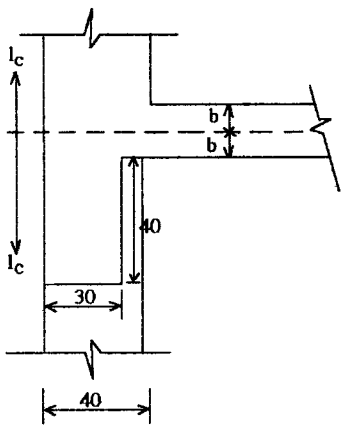
در تکیه‌گاه‌های میانی دو مقدار برای لنگر منفی تکیه گاهی بدست می‌آید. مقدار بزرگتر را مد نظر قرار می‌دهیم.

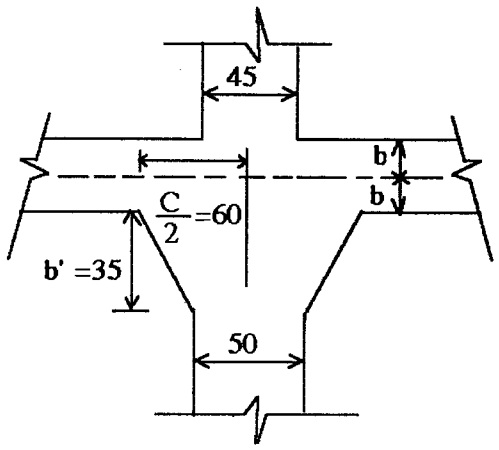
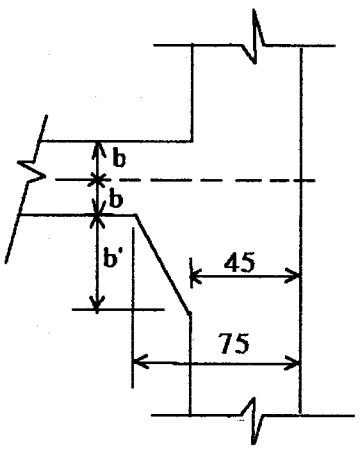
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	گام هفتم در این مثال انجام نشده است.	**گام هفتم)** تکرار گام‌های چهارم تا ششم برای بقیه آکس‌ها	
	  $A = 11.2 \times 6 + 2 \times (2.8 \times 0.4) + 4 \times \left(\frac{2.8 \times 2.8}{2}\right)$ $= 25.12 \quad m^2$ $W_{tot} = 25.12 \times 14.675 = 368.6 \quad KN$	**گام هشتم)** طراحی تیرها برای برش و خمش در طراحی تیرها برای خمش باید لنگرهای ناشی از وزن قسمت بیرون زده از دال تیر، و دیوارهایی که احتمالاً روی آن قرار دارند، به لنگرهای محاسبه شده در گام قبل اضافه شوند. چون $\alpha_1 \frac{\ell_2}{\ell_1} > 1$ می‌باشد تیرها باید برای برش ناشی از باری طراحی شوند که در محدوده خطوط مورب ۴۵ درجه از گوشه‌های دال‌های طرفین تیر و محورهای چشمه‌های طرفین به دال‌ها وارد می‌شود. $W_{tot} = A.W_u$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	وزن قسمت‌بیرون‌زده تیر = $(0.3\times0.3\times6.8)\times24\times1.25$ $= 18.4$ KN بنابراین کل بار وارد بر تیر ب رابر است با: $368.6 + 18.4 = 387$ KN $V_u = \frac{387}{2} = 193.5$ KN		
		تذکر: برش در اعضای انتهایی و در درجه اولین تکیه‌گاه داخلی $1.15W_u \frac{\ell_n}{2}$ می‌باشد.	۱-۹-۳-۱۰
	$bw = 0.3$ m $d = 0.46 - 0.05 = 0.41$ m $V_c = 0.2\times0.6\times\sqrt{20}\times0.3\times0.41\times10^3$ $V_c = 66$ KN چون V_u بزرگتر از V_c می‌باشد، برای تیر باید آرماتورهای برشی طراحی نمود.	$V_c = 0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_w d$	۱-۱-۳-۱۲
		گام نهم) آرماتور گذاری دال	

مثال ۳ طرح دال دو طرفه و بدون تیر به روش قاب معادل

دال دو طرفه و بدون تیر مثال یک را به روش قاب معادل طرح کنید.

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		تذکر: اختلاف اصلی دو روش قاب معادل و مستقیم، در نحوه محاسبه لنگرهای خمشی در طول قاب طراحی است. بنابراین فقط گام‌های مربوط به محاسبه لنگرهای خمشی نهایی، در این مثال بطور کامل آورده می‌شوند. گام‌های اول تا سوم مانند همان گام‌ها از مثال یک می‌باشند. با توجه به گام دوم ضخامت دال را برابر ۱۸ سانتیمتر در نظر می‌گیریم	۶-۱۵ ۷-۱۵
	برای ستون آکس (A) داریم:  $a=\frac{18}{2}=9\ \text{cm}\ ,\ b'=0$	**گام چهارم)** محاسبه پارامترهای لازم برای تحلیل به روش پخش لنگر قاب داخلی آکس (3) را برای تحلیل در نظر می‌گیریم. یکی از روشهای آنالیز پخش لنگر است که در این مثال بطور کامل شرح داده می‌شود. A – محاسبه ضرایب لازم برای استفاده از جداول ۳ و ۴ دال‌ها	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	برای ستون‌های آکس‌های (B) و (C) داریم:  $a = \frac{18}{2} = 9$ cm b =60-22.5 = 37.5 cm : در ستون روی دال b =60-25=35 cm : در ستون زیر دال برای ستون آکس (D) داریم:  $a = \frac{18}{2} = 9$ cm $\ell_c = 420$ cm در ستون روی دال $\ell_c = 480$ cm در ستون زیر دال $\ell_1 = 670$ cm $\ell_2 = 550$ cm		

جداول کمکی	محاسبات				روش	بند آیین‌نامه
		(A)	(B), (C)	(D)		
	$\frac{a}{\ell_c}$	$\frac{9}{420}=0.021$	0.021	0.021	ستون روی دال	
	$\frac{b'}{\ell_c}$	–	$\frac{37.5}{420}=0.089$	$\frac{30}{420}=0.071$		
	$\frac{C_1}{\ell_{1LEFT}}$	–	$\frac{120}{670}=0.179$	$\frac{75}{670}=0.112$	دال	
	$\frac{C_2}{\ell_2}$	$\frac{45}{550}=0.082$	$\frac{120}{550}=0.218$	$\frac{105}{550}=0.191$		
	$\frac{C_1}{\ell_{1RIGHT}}$	$\frac{40}{670}=0.060$	$\frac{120}{670}=0.179$	-		
	$\frac{a}{\ell_c}$	$\frac{9}{480}=0.073$	0.019	0.019	ستون زیر دال	
	$\frac{b'}{\ell_c}$	0	$\frac{35}{480}=0.073$	$\frac{30}{480}=0.063$		
					B- محاسبه سختی ستون	
دال ۳-۱		(A)	(B), (C)	(D)		
	K_c درانتهای تحتانی	4.48	4.55	4.52	ستون روی دال	
	$I_c=\frac{b_c.h_c^3}{12}$	240000	341719	341719		
	$\frac{K_c}{E_c}=\frac{K_c''I_c}{\ell_{1c}}$	2560	3702	3678		
دال ۳-۱	K_c درانتهای فوقانی	4.43	4.61	4.57	ستون زیر دال	
	$I_c=\frac{b_c.h_c^3}{12}$	240000	520833	341719		
	$\frac{K_c}{E_c}=\frac{K_c''I_c}{\ell_{1c}}$	2215	5002	3253		

جداول کمکی	محاسبات				روش	بند آیین‌نامه
	$\sum \frac{K_c}{E_c}$	2560+2215	3702+5002	3678+3253	$\sum \frac{K_c}{E_c} = \frac{K_c(above)}{Ec} + \frac{K_c(below)}{E_c}$	
		= 4775	= 8704	= 6931		
		(A)	(B) , (C)	(D)		
					محاسبه ضریب C	۵-۲-۶-۱۵
		دال تیر	دال	دال		
	x	30 18	18	18		
	y	58 40	120	75		
		351900+55715				
دال ۲	C	407615	211235	123755	$C = \frac{1\Sigma}{3}(1 - 0.63\frac{x}{y})x^3 y$	معادله ۳-۱۵
	$\frac{K_t}{E_c}$	17244	14456	7649	$\frac{K_t}{E_c} = \sum \frac{9c}{\ell_2(1-c_2/\ell_2)^3} = \frac{18c}{\ell_2(1-c_2/\ell_2)^3}$	معادله ۵-۱۵
	$\frac{K_{ta}}{E_c}$	17244	14456	7649	$\frac{K_{ta}}{E_c} = (\frac{I_{sb}}{I_s})\frac{K_t}{E_c}$	معادله ۴-۱۵
					تذکر: چون در امتداد قاب آکس (3) تیر وجود ندارد نسبت $\frac{I_{sb}}{I_s}$ برابر یک می‌شود.	
	$\frac{E_c}{K_{cc}}$	2.674×10^{-4}	1.841×10^{-4}	2.75×10^{-4}	$\frac{E_c}{K_{cc}} = \frac{E_c}{\sum K_c} + \frac{E_c}{K_{ta}}$	معادله ۶-۱۵
	$\frac{K_{cc}}{E_c}$	3740	5433	3636		
					C- محاسبه سختی دال	
		(A)	(B) , (C)	(D)	برای دال‌های سمت چپ ستون‌ها داریم:	
دال ۴-۱	K^*_s	-	4.718	4.38		
	I_s	-	267300	267300	$I_s = \frac{h^3_s.\ell_2}{12}$	

جداول کمکی	محاسبات				روش	بند آیین‌نامه
	$\frac{K_s(left)}{E_c}$	-	1879	1747	$\frac{K_s(left)}{E_c} = \frac{K_s.I_s}{\ell_1}$	
					برای دال‌های سمت راست ستونها داریم:	
		(A)	(B) , (C)	(D)		
دال ۴-۱	K^*_s	4.07	4.71	-		
	I_s	267300	267300	-	$I_s = \frac{h^3_s.\ell_2}{12}$	
	$\frac{K_s(rigth)}{E_c}$	1624	1879	-	$\frac{K_s(rigth)}{E_c} = \frac{K_s.I_s}{\ell_1}$	
					حال سختی کل را از فرمول زیر محاسبه می‌کنیم.	
	$\frac{\sum K}{E_c}$	5364	9191	5383	$\sum K = K_{ec} + K_s(left) + K_s(right)$	
					D- محاسبه ضرایب پخش لنگر و لنگرهای گیرداری انتهایی.	
		(A)	(B) , (C)	(D)		
		$\frac{1624}{5364}$	$\frac{1879}{9191}$	$\frac{1747}{5383}$	ضریب پخش لنگر = $\frac{K_s}{\sum K}$	
		= 0.30	= 0.20	= 0.32		
دال ۴-۱		0.51 → 0.54 ←	0.54 → 0.53 ←		C- ضریب انتقال لنگر	
		0.084 0.088	0.088 0.056		M – ضریب لنگر گیرداری انتهایی	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام پنجم)	
		توجه به حالات مختلف بارگذاری و محاسبه لنگر گیرداری انتهایی برای حالت بحرانی	۱۵-۶-۷
	$W_d = 1.25\ (0.7 + 0.18\times24) = 6.275 \quad KN/m^2$	برای تعیین حداکثر لنگر خمشی مثبت در یک دهانه باید آن دهانه و دهانه‌های مجاور بعدی را بطور یک در میان با سه چهارم بار زنده نهایی بارگذاری کرد. ممچنین برای تعیین حداکثر لنگر خمشی منفی روی یک تکیه‌گاه باید دهانه‌های مجاور آن تکیه‌گاه را با سه چهارم بار زنده نهایی بارگذاری کرد.	۱۵-۶-۷-۳
	$W_l = 1.5 \times 6 = 9 \quad KN/m^2$		
	$\frac{3}{4} W_l = 0.75 \times 9 = 6.75 \quad KN/m^2$		
	$W_d + \frac{3}{4} W_l = 13.25 \quad KN/m^2$		
	$W_d + W_l = 6.275 + 9 = 15.275 \quad KN/m^2$	لنگرهای خمشی مورد استفاده در طراحی قطعات در هیچ حالت نباید کمتر از لنگرهای خمشی ایجاد شده در قاب ، تحت اثر بارهای زنده نهایی روی تمام دهانه‌ها باشد.	۱۵-۶-۷-۴
	$FEM_{AB} = 0.084 \times 5.5 \times 6.7^2 \times w = 20.74 \ w$	$\text{لنگر گیرداری انتهایی} = M.W.\ell_2.\ell_1^2$	
	$FEM_{BA} = 0.088 \times 5.5 \times 6.7^2 \times w = 21.73 \ w$		
	$FEM_{BC} = FEM_{CB} = FEM_{CD} = 21.73\ w$		
	$FEM_{DC} = 0.086 \times 5.5 \times 6.7^2 \times w = 21.23 \ w$		
		گام ششم)	
		محاسبه لنگرهای نهایی مثبت و منفی حداکثر در طول قاب طراحی	
		چون‌مقدار بارزنده از $5KN/m^2$ بیشتر است برای	۱۵-۶-۷-۳

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه

تعیین حداکثر لنگر خمشی مثبت در یک دهانه باید آن دهانه و دهانه‌های مجاور بعدی را بطور یک‌درمیان با سه‌چهارم بارزنده نهایی‌بارگذاری کرد. همچنین برای تعیین حداکثر لنگر خمشی منفی روی یک تکیه‌گاه بایددهانه‌های مجاور آن تکیه‌گاه را با سه چهارم بار زنده نهایی بارگذاری کرد.

گره	A	B		C		D
عضو	A-B	B-A	B-C	C-B	C-D	D-C
ضریب انتقال لنگر (COF)	0.51	0.54	0.54	0.54	0.54	0.53
ضریب پخش لنگر (DF)	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.32

کل بار زنده روی تمام دهانه‌ها وجود دارد.

FEM	-316.8	+331.9	-331.9	+331.9	-331.9	+324.3
Balance	+95	0	0	0	0	-103.8
CO	0	+48.5	0	0	-55	0
Balance	0	-26.2	-26.2	+11	+11	0
CO	-14.2	0	+5.9	-14.2	0	+5.9
Balance	+4.3	-1.2	-1.2	+2.8	+2.8	-1.9
Total	-231.7	+353	-353.4	+331.5	-373.1	+224.5
M^- (وسط دهانه)	+179		+129		+172.6	

برای نمونه لنگر M^-_{AB} در زیر محاسبه شده است:

$$M^-_{AB} = \frac{15.275 \times 5.5 \times 6.7^2}{8} - \frac{231.7 + 353}{2}$$

$$= 179 \quad KN.m$$

$$W = W_d + W_l$$

لنگر وسط دهانه هر پانل با کم کردن متوسط لنگر منفی تکیه‌گاه‌های آن از M_o بدست آمده است.

$$M_o = \frac{w_u . \ell_2 . \ell^2_{ln}}{8}$$

معادله ۹-۱۵

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه

سه چهارم بار زنده روی دهانه‌های CD و AB وجود دارد.

FEM Balance	-270.1 +81	+283 +29.3	-136.4 -29.3	+136.4 +29.3	-283 +29.3	+276.5 -88.5
CO Balance	-15.8 +4.7	+41.3 -11.4	+15.8 -11.4	-15.8 +12.5	-46.9 +12.5	+15.8 -5.1
CO Balance	-6.2 +1.9	+2.4 -1.8	+6.8 -1.8	-6.2 +1.8	-2.7 +1.8	+6.8 -2.2
Total	-204.5	+284.2	-156.3	+158	-289	+203.3
M^+ (وسط دهانه)	+157.6		+ 36.5		+ 155.8	

$M^+_{BC} = 36.5 > 0$ O.K.

سه چهارم بار زنده روی دهانه‌های BC وجود دارد.

FEM Balance	-130.1 +39	+136.4 +29.3	- 283 +29.3	+ 283 -29.3	-136.4 -29.3	+133.2 -42.6
CO Balance	+15.8 -4.7	+ 19.9 - 0.8	-15.8 - 0.8	+15.8 +1.4	-22.6 +1.4	-15.8 +5.1
CO Balance	-0.4 +0.1	-2.4 + 0.3	+ 0.8 + 0.3	- 0.4 - 0.5	+2.7 -0.5	+0.8 -0.3
Total	-80.3	+182.7	-269.2	+ 270	-184.7	+80.4
M^+ (وسط دهانه)	+62.2		+ 132.4		+ 61.1	

$(M^+_{AB} + M^+_{CD}) > 0$ OK

سه چهارم بار زنده روی دهانه‌های AB و BC وجود دارد.

FEM Balance	-270.1 +81	+283 0	-283 0	+283 -29.3	-136.4 -29.3	+133.2 -42.6
CO Balance	0 0	+41.3 -5.1	-15.8 -5.1	0 +4.5	-22.6 +4.5	-15.8 +5.1
CO Balance	-2.8 +0.8	0 -0.5	+2.4 -0.5	-2.8 0	+2.7 0	+2.4 -0.8
Total	-191.1	+318.7	-302	+255.4	-181.1	+81.5

CD , AB دهانه : $w = W_d + \frac{3}{4} w_l$

BC دهانه : $w = w_d$

در این حالت بارگذاری اگر لنگر وسط دهانه BC منفی شود، باید در آن ناحیه نیز آرماتور فوقانی پیش‌بینی کرد.

CD , AB دهانه : $w = w_d$

BC دهانه : $w = W_d + \frac{3}{4} w_l$

BC , AB دهانه : $w = W_d + \frac{3}{4} w_l$

CD دهانه : $w = w_d$

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه

سه چهارم بار زنده روی دهانه‌های BC و CD وجود دارد.

FEM Balance	-130.1 +39	+136.4 +29.3	-283 +29.3	+283 0	-283 0	+276.5 -88.5
CO Balance	+15.8 -4.7	+19.9 -4	0 -4	+15.8 +6.2	-46.9 +6.2	0 0
CO Balance	-2.2 +0.7	-2.4 -0.2	+3.4 -0.2	-2.2 +0.4	0 +0.4	+3.4 -1.1
Total	-81.5	+179	-254.5	+303.2	-323.3	+190.3

با توجه به جداول فوق داریم:

عضو	A-B	B-A	B-C	C-B	C-D	D-C
M^{-}_{MAX} (تکیه گاه)	231.7	353	353.4	331.5	373.1	224.5
M^{+}_{MAX} (وسط دهانه)	179		132.4		172.6	

در این مسئله برای محاسبه لنگر خمشی منفی در بر تکیه‌گاه، مقدار $\frac{V.C_1}{3}$ را از لنگر محاسبه شده در مرکز تکیه‌گاه کم کرده‌ایم (روش تقریبی).

چون لنگر منفی تکیه‌گاهی حاکم، در تمام دهانه‌ها مربوط به حالتی است که کل بار زنده روی تمام دهانه‌ها وجود دارد، فقط برای این حالت $\frac{V.C_1}{3}$ را محاسبه می‌کنیم.

CD , BC دهانه : $w = W_d + \frac{3}{4}w_l$

AB دهانه : $w = w_d$

حال مقادیر پوش لنگر خمشی در دهانه‌های مختلف بدست می‌آید.

حداکثر لنگر خمشی منفی در تکیه‌گاه‌های میانی برابر با لنگر خمشی در مقطع گذرنده از بر ستون است. فاصله محور ستون از این بر در هر حال نباید بزرگتر از $0.175\ \ell_1$ در نظر گرفته شود. ۱-۸-۶-۱۵

حداکثر لنگر خمشی منفی در تکیه‌گاه‌های خارجی که دارای سر ستون یا کتیبه باشند. در دهانه عمود بر لبه دال، برابر با لنگر خمشی در مقطعی به فاصله نصف تصویر افقی سر ستون یا کتیبه از بر ستون یا تکیه‌گاه است. ۲-۸-۶-۱۵

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	M_{AB}: $\frac{V.C_1}{3} = \frac{C_1}{3}\left[w \times l_2 \times \frac{l_1}{2} - \frac{M_{BA} - M_{AB}}{l_1}\right]$ $\frac{V.C_1}{3} = \frac{0.4}{3}\left[15.275 \times 5.5 \times \frac{6.7}{2} - \frac{353 - 231.7}{6.7}\right]$ $= 25.1 \quad KN.m$ M_{BA}: $\frac{V.C_1}{3} = \frac{1.2}{3}\left[15.275 \times 5.5 \times \frac{6.7}{2} - \frac{231.7 - 353}{6.7}\right]$ $= 119.8 \quad KN.m$ M_{BC}: $\frac{V.C_1}{3} = \frac{1.2}{3}\left[[15.275 \times 5.5 \times \frac{6.7}{2} - \frac{331.5 - 353.4}{6.7}\right]$ $= 113.9 \quad KN.m$ M_{CB}: $\frac{V.C_1}{3} = \frac{1.2}{3}\left[15.275 \times 5.5 \times \frac{6.7}{2} - \frac{353.4 - 331.5}{6.7}\right]$ $= 111.3 \quad KN.m$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه

محاسبات

M_{CD}:

$$\frac{C_1}{3} = \frac{1.2}{3}\left[15.275 \times 5.5 \times \frac{6.7}{2} - \frac{224.5 - 373.1}{6.7}\right]$$

$$= 121.4 \quad KN.m$$

M_{BA}:

$$\frac{V.C_1}{3} = \frac{0.75}{3}\left[15.275 \times 5.5 \times \frac{6.7}{2} - \frac{373.1 - 224.5}{6.7}\right]$$

$$= 64.8 \quad KN.m$$

بنابراین :

عضو	A-B	B-A	B-C	C-B	C-D	D-C
M^-_{MAX} (تکیه گاه)	196.6	233.2	239.5	220.2	251.7	159.7
M^+_{MAX} (وسط دهانه)	179		132.4		172.6	

با توجه به گام چهارم از مثال اول داریم:

AB دهانه : $M_o = 365$ KN.m

BC دهانه : $M_o = 317.2$ KN.m

CD دهانه : $M_o = 325.9$ KN.m

دهانه	A-B	B-C	C-D
M^+ ave M^-	393.9	362.25	378.3
M_o	365	317.2	325.9
مقدار کاهش M^+	28.9	45.05	52.4

روش

چون دالی محدودیت‌های روش مستقیم (قسمت ۱۵-۷) را ارضاء کند، می‌توان مجموع قدر مطلق‌های لنگر خمشی مثبت و متوسط لنگرهای خمشی منفی در هر دهانه از قاب معادل را تا مقدار M_o کاهش داد و مقادیر لنگرهای خمشی مثبت و منفی را به تناسب اصلاح کرد.

$$M_o = \frac{w_u . \ell_2 . \ell^2_{ln}}{8}$$

چون لنگرهای منفی در مرحله قبل کاهش یافته‌اند، کاهش مربوط به این قسمت را به لنگرهای مثبت اختصاص می‌دهیم.

بند آیین‌نامه

۱۵-۶-۸-۴

معادله ۱۵-۸

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه

بنابراین این مقادیر لنگرهای نهایی مثبت و منفی برابرند با :

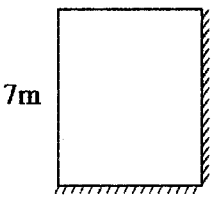
عضو	A-B	B-A	B-C	C-B	C-D	D-C
M^-_{MAX} (تکیه گاه)	196.6	233.2	239.5	220.2	251.7	159.7
M^+_{MAX} (وسط دهانه)	150.1		87.35		120.2	

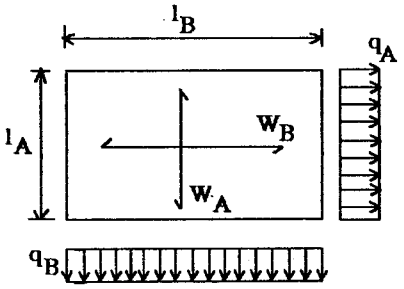
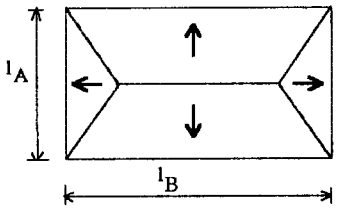
گام‌های بعد شبیه مثال یک می‌باشند.

مثال ۴ طرح دال دو طرفه و دارای تیر به روش ضرایب لنگر خمشی

دال دو طرفه و دارای تیر مثال دو را به روش ضرایب لنگر خمشی طرح کنید. فرض کنید ارتفاع کلیه تیرها برابر ۷۰ سانتیمتر است.

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام اول) کنترل هندسه و بارگذاری دال برای استفاده از روش ضرایب لنگر خمشی	
	ضوابط : A- دال درچهار طرف روی تیرها یا دیوارهایی تکیه داشته باشد.		۱۵-۸-۱-۲
	B- ابعاد تیرهای زیر سری چنان باشند که رابطه زیر برقرار باشد. $\frac{b_w.h^3_b}{l_n.h^3} \geq 2$ $\frac{25\times 70^3}{700\times 16^3} = 2.99 > \text{O.K.}$		۱۵-۸-۱-۳
	C- نسبت طول آزاد به عرض آزاد دال، کوچکتر از ۲ یا مساوی با آن باشد. $\frac{7}{5.8} = 1.21 < 2$ O.K.		۱۵-۸-۱-۴
	D- بارهای وارد به دال تنها به بارهای قائم بوده و بطور یکنواخت پخش شده باشند.		۱۵-۸-۱-۵
		گام دوم) انتخاب ضخامت دال با توجه به مثال دو ضخامت ۱۶ سانتیمتر ضوابط افت و برش را ارضاء می‌کند.	

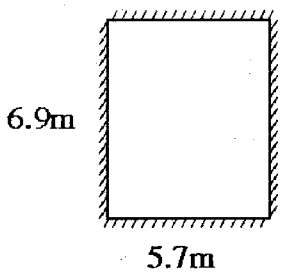
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		در صورت استفاده از روش ضرایب لنگر خمشی، ضخامت دال در هیچ حالت نباید در دال‌هایی که در یک سمت یا بیشتر غیر پیوسته هستند از مقدار زیر کمتر در نظر گرفته شود:	
	$h_{s\min}=\frac{2\times(5.8+7)}{140}=0.18\text{m}$ بنابراین ضخامت دال را برابر ۱۸ سانیتمتر در نظر می‌گیریم.	محیط دال تقسیم بر ۱۴۰	
	$\frac{25\times70^3}{700\times16^3}=2.1>2$ O.K.	به علت تغییر ضخامت دال رابطه (۱۵-۱۲) مجدداً کنترل می‌شود. $\frac{b_w.h^3_b}{l_n.h^3}\geq 2$	۱۵-۸-۱-۳ معادله ۱۵-۱۰
		گام سوم) محاسبات چشمه گوشه  A – کنترل برش $m=\frac{l_A}{l_B}$	۱۵-۸-۴-۴
	$m=\frac{5.8}{7}=0.83$ $W_A=\frac{1}{2}(0.71+0.66)=0.685$ $W_B=\frac{1}{2}(0.29+0.34)=0.315$ به خاطر افزایش ضخامت دال بارهای نهایی مجدداً محاسبه می‌شوند. $W_d=1.25(0.7+0.18\times24)=6.275\ \text{KN.m}^2$	با داشتن مقدار m و استفاده از جدول (۱۵-۸-۴-۴) آیین‌نامه، ضرایب برش بدست می‌آیند.	

بند آیین‌نامه	روش	محاسبات	جداول کمکی
		$W_l = 6 \times 1.5 = 9 \ KN/m^2$ $W_u = 6.275 + 9 = 15.275 \ KN/m^2$	
۱-۴-۸-۱۵	$q_A = \frac{w.\ell_A..\ell_B.w_B}{2.\ell_A}$	$q_A = \frac{15.275 \times 5.8 \times 7 \times 0.315}{2 \times 5.8} = 16.84 \ KN/m$	
	$q_B = \frac{w..\ell_A.\ell_B.w_A}{2.\ell_B}$	$q_B = \frac{15.275 \times 5.8 \times 7 \times 0.685}{2 \times 7} = 30.34 \ KN/m$	
	در این مرحله $\bar{q}_A$ و $\bar{q}_B$ را در حالتی که دال بصورت ذوزنقه‌ای مثلثی تقسیم‌بندی شده است محاسبه می‌کنیم. 		
	$\bar{q}_A = \frac{w.\ell^2_A / 4}{\ell_A}$	$\bar{q}_A = \frac{15.275 \times (5.8^2)/4}{5.8} = 22.15 \ KN/m$	
	$\bar{q}_B = \frac{(w.\ell_A.\ell_B - 2 \times w.\ell^2_A / 4) \times 0.5}{\ell_B}$	$\bar{q}_B = \frac{(15.275 \times 5.8 \times 7 - 2 \times 15.275 \times 5.8^2 / 4) \times 0.5}{7}$ $= 25.95 \ KN/m$	
	$q = MAX\ (q_A, q_B, \bar{q}_A, \bar{q}_B)$	$q = q_B = 30.34 \ KN/m$	
۱-۱-۳-۱۲	مقاومت برشی دال برابر است با: $V_c = 0.2\phi_c \sqrt{f_c}\, bd$	$V_c = 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} \times 1 \times 0.15 \times 10^3$ $= 80.5 \ KN/m > q$ O.K.	
	B- محاسبات خمش B_1- محاسبه لنگرهای خمشی		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	برای m=0.83 داریم:		
	$C_A^- = \frac{1}{2}(0.066 + 0.071) = 0.0685$		جدول ۱۵-۸-۲-۴ الف
	$C_B^- = \frac{1}{2}(0.029 + 0.034) = 0.0315$		
		$M_{\bar{A}(d+1)} = C_{\bar{A}} . W_{(d+1)} . l^2 A$	معادله۱۵-۱۴
	$M^-_{A(d+1)} = 0.0685 \times 15.275 \times 5.8^2 = 35.2 KN/m$		
	$M^-_{B(d+1)} = 0.0315 \times 15.275 \times 7^2 = 23.6 KN/m$	$M_{\bar{B}(d+1)} = C_{\bar{B}} . W_{(d+1)} . l^2 B$	جدول ۱۵-۸-۲-۴ب
	$C^+_{Al} = \frac{1}{2}(0.048 + 0.043) = 0.0455$		
	$C^+_{Ad} = \frac{1}{2}(0.039 + 0.036) = 0.0375$		
	$C^+_{Bl} = \frac{1}{2}(0.020 + 0.023) = 0.0215$		
	$C^+_{Bd} = \frac{1}{2}(0.016 + 0.019) = 0.0175$		
	$M^+_{Ad} = 0.0375 \times 6.275 \times 5.8^2 = 7.9$ KN.m	$M^+_{Ad} = C^+_{Ad} . W_d . l^2_A$	معادله ۱۵-۱۵
	$M^+_{Bd} = 0.0175 \times 6.275 \times 7^2 = 5.4$ KN.m	$M^+_{Bd} = C^+_{Bd} . W_d . l^2_B$	معادله ۱۵-۱۶
	$M^+_{Al} = 0.0455 \times 9 \times 5.8^2 = 13.8$ KN.m	$M^+_{Al} = C^+_{Al} . W_l . l^2_A$	معادله ۱۵-۱۷
	$M^+_{Bl} = 0.0215 \times 9 \times 7^2 = 9.5$ KN.m	$M^+_{Bl} = C^+_{Bl} . W_l . l^2_B$	معادله ۱۵-۱۸
	$M^+_A = 7.9 + 13.8 = 21.79$ KN.m	$M^+_A = M^+_{Ad} + M^+_{Al}$	
	$M^+_B = 5.4 + 9.5 = 14.9$ KN.m	$M^+_B = M^+_{Bd} + M^+_{Bl}$	
		تذکر : کلیه لنگرهای خمشی فوق برای واحد عرض نوار میانی می‌باشند.	
	برای $M_u = M^-_A = 35.2$ KN.m و با فرض j=0.92 داریم:	B2- محاسبه آرماتورهای خمشی لازم.	
	$A_s = \frac{35.2 \times 10^{-3}}{0.85 \times 300 \times 0.92 \times 0.15} = 10 \times 10^{-4} m^2$	$A_s = \frac{M_u}{\phi_s . f_y . j.d}$	
	و یا : $A_s = 10 cm^2/m$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$A_{S\min} = 0.002 \times 100 \times 18 = 3.6 \quad cm^2/m$		
	حال مقدار j فرض شده را کنترل می‌کنیم.		جدول ۱۵-۸-۲-۴ الف
	$a = \frac{0.85 \times 10 \times 300}{0.85 \times 0.6 \times 20 \times 100} = 2.5 \quad m$		
	$j = 1 - \frac{2.5}{2 \times 15} = 0.917 \approx 0.92 \quad O.K.$		
	$M_{\bar{A}(d+l)} = 0.0685 \times 15.275 \times 5.8^2 = 35.2 KN.m$	$M_{\bar{A}(d+l)} = C_{\bar{A}} . W_{(d+l)} . \ell^2 A$	معادله ۱۵-۱۴
	$M_{\bar{B}(d+l)} = 0.0315 \times 15.275 \times 7^2 = 23.6 KN.m$	$M_{\bar{B}(d+l)} = C_{\bar{B}} . W_{(d+l)} . \ell^2 B$	جدول ۱۵-۸-۲-۴ ب
	$C^+_{Al} = \frac{1}{2}(0.048 + 0.043) = 0.0455$		
	$C^+_{Ad} = \frac{1}{2}(0.039 + 0.036) = 0.0375$		
	$C^+_{Bl} = \frac{1}{2}(0.020 + 0.023) = 0.0215$		
	$C^+_{Bd} = \frac{1}{2}(0.016 + 0.019) = 0.0175$		
	$M^+_{Ad} = 0.0375 \times 6.275 \times 5.8^2 = 7.9 \ KN.m$	$M^+_{Ad} = C^+_{Ad} . W_d . \ell^2_A$	معادله ۱۵-۱۵
	$M^+_{Bd} = 0.0175 \times 6.275 \times 7^2 = 5.4 \ KN.m$	$M^+_{Bd} = C^+_{Bd} . W_d . \ell^2_B$	معادله ۱۵-۱۶
	$M^+_{Al} = 0.0455 \times 9 \times 5.8^2 = 13.8 \ KN.m$	$M^+_{Al} = C^+_{Al} . W_l . \ell^2_A$	معادله ۱۵-۱۷
	$M^+_{Bl} = 0.0215 \times 9 \times 7^2 = 9.5 \ KN.m$	$M^+_{Bl} = C^+_{Bl} . W_l . \ell^2_B$	معادله ۱۵-۱۸
	$M^+_A = 7.9 + 13.8 = 21.79 \ KN.m$	$M^+_A = C^+_{Ad} . M^+_{Al}$	
	$M^+_B = 5.4 + 9.5 = 14.9 \ KN.m$	$M^+_B = C^+_{Bd} . M^+_{Bl}$	
	برای $M_u = M_A = 35.2 \ KN.m$ و با فرض $j = 0.92$ داریم:	تذکر : کلیه لنگرهای خمشی فوق برای واحد عرض نوار میانی می‌باشند.	
	$A_s = \frac{35.2 \times 10^{-3}}{0.85 \times 300 \times 0.92 \times 0.15} = 10 \times 10^{-4} m^2$	B2- محاسبه آرماتورهای خمشی لازم.	
	و یا :	$A_s = \frac{M_u}{\phi_s . f_{\bar{y}} . j.d}$	
	$A_s = 10 \ cm^2/m$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$A_{s\,min} = 0.002 \times 100 \times 18 = 3.6\ cm^2/2$ حال مقدار j فرض شده را کنترل می‌کنیم. $a = \frac{0.85 \times 10 \times 300}{0.85 \times 0.6 \times 20 \times 100} = 2.5\ \ cm$ $j = 1 - \frac{2.5}{2 \times 15} = 0.917 \approx 0.92$ O.K.	$A_{smin} = 0.002 \times b \times h_s$ $a = \frac{\phi_s . A_s . f_y}{0.85 \phi_c . f_c . b}$ $j = 1 - \frac{a}{2d}$	۱-۳-۷-۸
آرماتورگذاری-۶	$\therefore$ USE Φ 12/10 cm و $A_s = 11.31\ cm^2/m$ برای $M_u = M_{\overline{B}} = 23.6$ KN.m داریم : $A_s = \frac{10}{35.2} \times 23.6 = 6.7 cm^2/m > A_{s\,min}$ O.K.		
آرماتورگذاری-۶	$\therefore$ USE Φ 12/15 cm و $A_s = 7.54\ cm^2/m$ برای $M_u = M^+{}_A = 21.7$ KN.m داریم : $A_s = \frac{10}{35.2} \times 21.7 = 6.16 cm^2/m > A_{s\,min}$ O.K.		
آرماتورگذاری-۶	$\therefore$ USE Φ 12/15 cm و $A_s = 7.54\ cm^2/m$ برای $M_u = M^+{}_B = 14.9$ KN.m داریم : $A_s = \frac{10}{35.2} \times 14.9 = 4.23 cm^2/m > A_{s\,min}$ O.K.		
آرماتورگذاری-۶	$\therefore$ USE Φ 12/25 cm و $A_s = 4.52\ cm^2/m$ تذکر ۱ : میلگردهای فوق در نوارهای میانی بکار می‌روند. تغییرات لنگرهای خمشی مثبت و منفی در عرض هر یک از نوارهای کناری غیر یکنواخت ولی بصورت خطی در نظر گرفته می‌شود. این لنگرها در مرز مشترک با نوار میانی برابر با مقادیر مربوط در نوار میانی و در مرز خارجی برابر یک سوم این مقادیر منظور می‌شوند.		۳-۲-۸-۱۶

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	اگر بخواهیم این لنگرها را یکنواخت فرض کنیم مقدار متوسط آنها برابر $0.5(1+\frac{1}{3})M_{max}$ و یا $\frac{2}{3}M_{max}$ خواهد شد. بنابراین می‌توان فاصله آرماتورها را درنوار کناری $\frac{2}{3}$ برابر کرد. البته باید توجه شود که فاصله بین میلگردها از حداکثر مقدار مجاز بیشتر نشود و نیز A_s از A_{smin} کمتر نگردد. تذکر ۲: مقدار لنگر خمشی منفی انتهایی دال در هر نوار متکی بر تکیه‌گاه غیر پیوسته، برابر سه چهارم لنگر خمشی مثبت وسط دهانه، در همان نوار فرض می‌شود.		۱۵-۸-۲-۶
	$m=\frac{5.7}{6.9}=0.826$ برای m=0.826 داریم: $C^-_A=\frac{1}{2}(0.06+0.065)=0.0625$ $C^-_B=\frac{1}{2}(0.031+0.027)=0.029$ $M_{\overline{A}(d+l)}=0.0625\times15.275\times5.7^2=31\ KN.m$ $M_{\overline{B}(d+l)}=0.029\times15.275\times6.9^2=21.1\ KN.m$ $C^+_{Al}=\frac{1}{2}(0.041+0.037)=0.039$ $C^+_{Ad}=\frac{1}{2}(0.026+0.024)=0.025$	**گام چهارم)** محاسبات چشمه میانی  A1 – محاسبه لنگرهای خمشی $m=\frac{l_A}{l_B}$ $M_{\overline{A}(d+l)}=C^-_A W_{(d+l)}.\ell^2_A$ $M_{\overline{B}(d+l)}=C^-_B.W_{(d+l)}.\ell^2_B$	جدول ۱۵-۸-۲-۴ الف معادله۱۵-۱۳ معادله ۱۵-۱۴ جدول ۱۵-۸-۲-۴ب

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$C^{+}_{Bl}=\frac{1}{2}(0.017+0.019)=0.018$		
	$C^{+}_{Bd}=\frac{1}{2}(0.011+0.012)=0.0115$		
	$M^{+}_{Ad}=0.025\times 6.275\times 5.7^2=5.1$ KN.m	$M^{+}_{Ad}=C^{+}_{Ad}.W_d.\ell^2_A$	معادله ۱۵-۱۵
	$M^{+}_{Bd}=0.0115\times 6.275\times 6.9^2=3.4$ KN.m	$M^{+}_{Bd}=C^{+}_{Bd}.W_d.\ell^2_B$	معادله ۱۵-۱۶
	$M^{+}_{Al}=0.039\times 9\times 5.7^2=11.4$ KN.m	$M^{+}_{Al}=C^{+}_{Al}.W_l.\ell^2_A$	معادله ۱۵-۱۷
	$M^{+}_{Bl}=0.018\times 9\times 6.9^2=7.7$ KN.m	$M^{+}_{Bl}=C^{+}_{Bl}.W_l.\ell^2_B$	معادله ۱۵-۱۸
	$M^{+}_{A}=5.1+11.4=16.5$ KN.m	$M^{+}_{A}=C^{+}_{Ad}.M^{+}_{Al}$	
	$M^{+}_{B}=3.4+7.7=11.1$ KN.m	$M^{+}_{B}=C^{+}_{Bd}.M^{+}_{Bl}$	
آرماتورگذاری-۶	برای $M_u=M^{-}_{A}=31$ KN.m داریم : $A_s=\frac{10}{35.2}\times 31=8.81 cm^2/m > A_{s\min}$ O.K. $\therefore$ USE Φ 12/12.5 cm و $A_s=9.05\ cm^2/m$	A2- محاسبه آرماتورهای خمشی لازم. $A_s=\frac{M_u}{\phi_s.f_y.j.d}$	
آرماتورگذاری-۶	برای $M_u=M^{-}_{B}=21.1$ KN.m داریم : $A_s=\frac{10}{35.2}\times 21.1=6\ cm^2/m > A_{s\min}$ O.K. $\therefore$ USE Φ 12/15 cm و $A_s=7.54\ cm^2/m$		
آرماتورگذاری-۶	برای $M_u=M^{+}_{A}=16.5$ KN.m داریم : $A_s=\frac{10}{35.2}\times 16.5=4.7\ cm^2/m > A_{s\min}$ O.K. $\therefore$ USE Φ 12/20 cm و $A_s=5.56\ cm^2/m$		
آرماتورگذاری-۶	برای $M_u=M^{+}_{B}=11.1$ KN.m داریم : $A_s=\frac{10}{35.2}\times 11.1=3.15\ cm^2/m > A_{s\min}$ O.K. بنابراین: $A_s=A_{s\min}=3.6\ cm^2/m$ $\therefore$ USE Φ 12/30 cm و $A_s=3.77\ cm^2/m$		

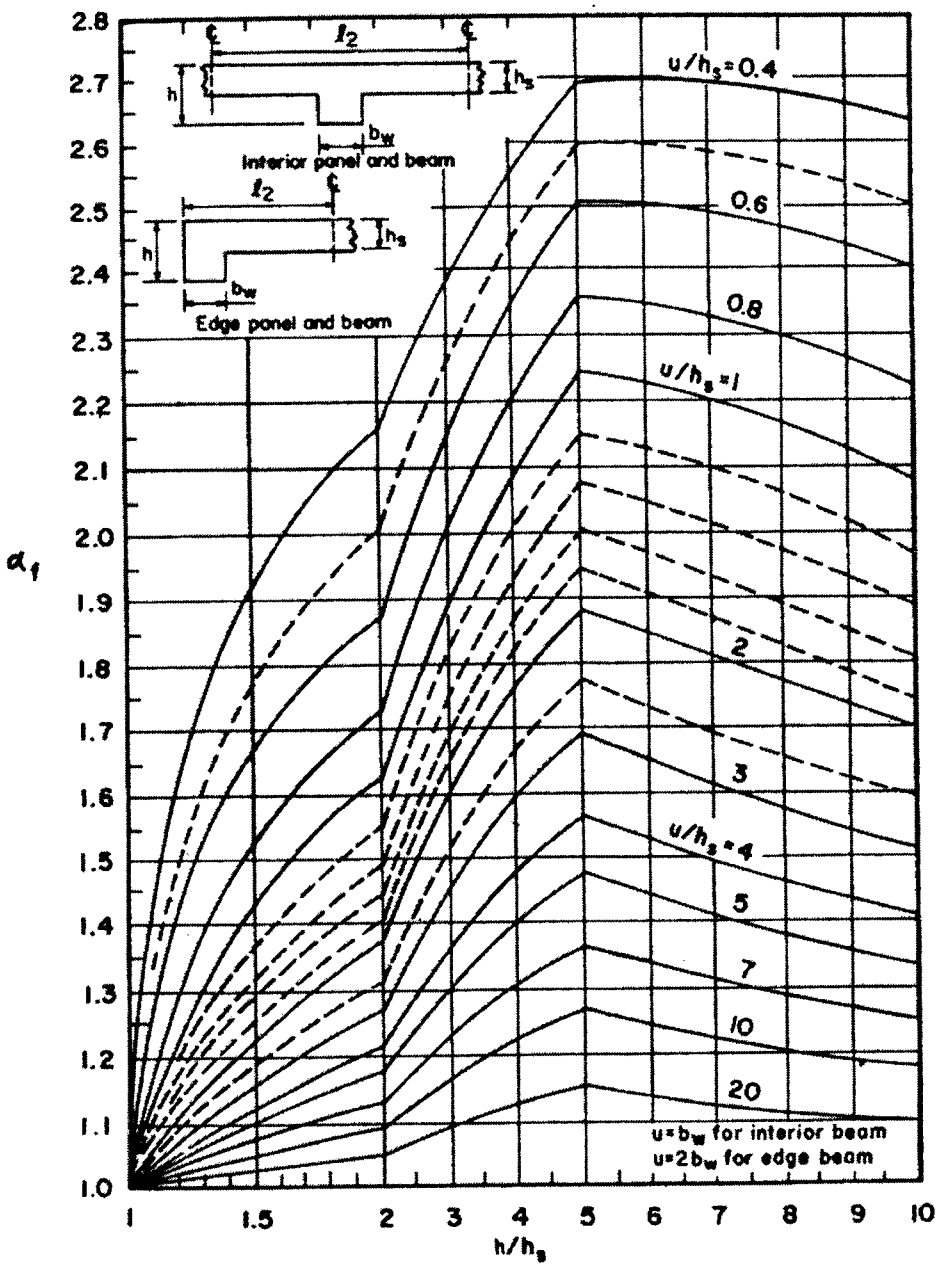
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	گام پنجم در این مثال انجام نشده است.	**گام پنجم)** محاسبات چشمه‌های کناری	
	برای نمونه بارهای وارد بر تیرهای اطراف چشمه گوشه را بدست می‌آوریم. $q_A = \frac{15.275 \times 5.8}{3} = 29.5 \quad KN/m$ $q_B = 29.5 \times (\frac{3 - 0.83^2}{2}) = 34.1 \quad KN/m$	**گام ششم)** لنگرهای خمشی در تیرها تیرها برای لنگرهای ناشی از بارهای ذوزنقه‌ای مثلثی و یا بارهای معادل یکنواخت زیر طرح می‌شوند. - برای تیرهای تکیه‌گاه ضلع کوتاه دال: $\frac{W_u . \ell_A}{3}$ - برای تیرهای تکیه‌گاه ضلع بلند دال: $(\frac{W_u . \ell_A}{3})(\frac{3 - m^2}{2})$	۱-۵-۸-۱۵ معادله ۱۵-۱۷ ۱۵-۱۸

دال ۱) ضریب α_f برای محاسبه α

مراجع : بندهای ۱۵-۰ (تعریف α) و ۱۵-۲-۷ آیین‌نامه بتن ایران

$$\alpha = \frac{E_{cb}.I_b}{E_{cs}.I_s} = \frac{E_{cb}}{E_{cs}} \frac{b_w}{\ell_2} \left[\frac{h}{h_s}\right]^3 \alpha_f$$

تذکر : علت تغییر شیب منحنی‌ها در $\frac{h}{h_s} = 5$ بعلت محدودیت عرض بال تیرهای T شکل‌با توجه به بند ۱۵-۲-۷ می‌باشد.



دال ۲) ضریب ثابت C برای محاسبه سختی پیچشی K_t

مراجع : بندهای ۱۵-۶-۵-۲ و ۱۵-۶-۵-۳ آیین‌نامه بتن ایران.

$$C = \sum (1 - 0.63\frac{x}{y})\frac{x^3.y}{3}$$

تذکر : x طول ضلع کوچکتر و y طول ضلع بزرگتر مقطع مستطیل شکل می‌باشد. اگر سطح مقطع عضو پیچش مستطیلی شکل نباشد ، باید آنرا به تعدادی مستطیل تقسیم کرد و C آن قطعات را با هم جمع نمود. البته تقسیم‌بندی باید طوری باشد که C به حداکثر مقدار خود برسد.

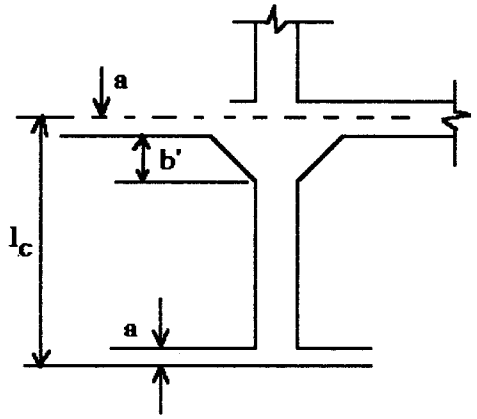
C , cm^4

y \ x	۱۵	۱۷/۵	۲۰	۲۲/۵	۲۵	۲۷/۵	۳۰	۳۲/۵	۳۵	۳۷/۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
۳۰	۲۳۱۱۹	۳۳۸۹۸	۴۶۴۰۰	۶۰۰۸۶	۷۴۲۱۹	۸۷۸۶۷	۹۹۹۰۰	–	–	–	–	–	–	–
۳۲/۵	۲۵۹۳۱	۳۸۳۶۴	۵۳۰۶۷	۶۹۵۷۸	۸۷۲۴۰	۱۰۵۱۹۸	۱۲۲۴۰۰	۱۳۷۵۹۹	–	–	–	–	–	–
۳۵	۲۸۷۴۴	۴۲۸۳۰	۵۹۷۳۳	۷۹۰۷۰	۱۰۰۲۶۰	۱۲۲۵۲۸	۱۴۴۹۰۰	۱۶۶۲۰۵	۱۸۵۰۷۷	–	–	–	–	–
۳۷/۵	۳۱۵۵۶	۴۷۲۹۶	۶۶۴۰۰	۸۸۵۶۲	۱۱۳۲۸۱	۱۳۹۸۵۹	۱۶۷۴۰۰	۱۹۴۸۱۲	۲۲۰۸۰۶	۲۴۳۸۹۶	–	–	–	–
۴۰	۳۴۳۶۹	۵۱۷۶۳	۷۳۰۶۷	۹۸۰۵۴	۱۲۶۳۰۲	۱۵۷۱۹۰	۱۸۹۹۰۰	۲۲۳۴۱۹	۲۵۶۵۳۵	۲۸۷۸۴۲	۳۱۵۷۳۳	–	–	–
۴۲/۵	۳۷۱۸۱	۵۶۲۲۹	۷۹۷۳۳	۱۰۷۵۴۶	۱۳۹۳۲۳	۱۷۴۵۲۰	۲۱۲۴۰۰	۲۵۲۰۲۶	۲۹۲۲۶۵	۳۳۱۷۸۷	۳۶۹۰۶۷	–	–	–
۴۵	۳۹۹۹۴	۶۰۶۹۵	۸۶۴۰۰	۱۱۷۰۳۹	۱۵۲۳۴۴	۱۹۱۸۵۱	۲۳۴۹۰۰	۲۸۰۶۳۲	۳۲۷۹۹۴	۳۴۵۷۳۲	۴۲۲۴۰۰	۵۰۵۵۴۴	–	–
۴۷/۵	۴۲۸۰۶	۶۵۱۶۱	۹۳۰۶۷	۱۲۶۵۳۱	۱۶۵۳۶۵	۲۰۹۱۸۲	۲۵۷۴۰۰	۳۰۹۲۳۹	۳۶۳۷۲۳	۴۱۹۶۷۸	۴۷۵۷۳۳	۵۸۱۶۸۱	–	–
۵۰	۴۵۶۱۹	۶۹۶۲۷	۹۹۷۳۳	۱۳۶۰۲۳	۱۷۸۳۸۵	۲۲۶۵۱۳	۲۷۹۹۰۰	۳۳۷۸۴۸	۳۹۹۴۵۲	۴۶۳۶۲۳	۵۲۹۰۶۷	۶۵۷۶۱۹	۷۷۰۸۳۳	–
۵۲/۵	۴۸۴۳۱	۷۴۰۹۳	۱۰۶۴۰۰	۱۴۵۵۱۵	۱۹۱۴۰۶	۲۴۳۸۴۳	۳۰۲۴۰۰	۳۶۶۴۵۳	۴۳۵۱۸۱	۵۰۷۵۶۸	۵۸۲۴۰۰	۷۳۳۵۵۶	۸۷۵۰۰۰	–
۵۵	۵۱۲۴۴	۷۸۵۶۰	۱۱۳۰۶۷	۱۵۵۰۰۷	۲۴۴۴۲۷	۲۶۱۱۷۴	۳۲۴۹۰۰	۳۹۵۰۶۰	۴۷۰۹۱۰	۵۵۱۵۱۴	۶۳۵۷۳۳	۸۰۹۴۹۴	۹۷۹۱۶۷	۱۱۲۸۵۹۹
۵۷/۵	۵۴۰۵۶	۸۳۰۲۶	۱۱۹۷۳۳	۱۶۴۵۰۰	۲۱۷۴۴۸	۲۷۸۵۰۵	۳۴۷۴۰۰	۴۲۳۶۶۶	۵۰۶۶۴۰	۵۹۵۴۵۹	۶۸۹۰۶۷	۸۸۵۴۳۱	۱۰۸۳۳۳۳	۱۲۶۷۲۲۳
۶۰	۵۶۸۶۹	۸۷۴۹۲	۱۲۶۴۰۰	۱۷۳۹۹۲	۲۳۰۴۶۹	۲۹۵۸۳۶	۳۹۹۹۰۰	۴۲۲۲۷۳	۵۴۲۳۶۹	۶۳۹۴۰۴	۷۴۲۴۰۰	۹۶۱۳۶۹	۱۱۸۷۵۰۰	۱۴۰۵۰۶۹
۶۲/۵	۵۹۶۸۱	۹۱۹۵۸	۱۳۳۰۶۷	۱۸۳۴۸۴	۲۴۳۴۹۰	۳۱۳۱۶۶	۳۹۲۴۰۰	۴۸۰۸۸۰	۵۷۸۰۹۸	۶۸۳۳۵۰	۷۹۵۷۳۳	۱۰۳۷۳۰۶	۱۲۹۱۶۶۷	۱۵۴۴۵۱۵
۶۵	۶۲۴۹۴	۹۶۴۲۴	۱۳۹۷۳۳	۱۹۲۹۷۶	۲۵۶۵۱۰	۳۳۰۴۹۷	۴۱۴۹۰۰	۵۰۹۴۸۷	۶۱۳۸۲۷	۷۲۷۲۹۵	۸۴۹۰۶۷	۱۱۱۳۲۴۴	۱۳۹۵۸۳۳	۱۶۸۳۱۶۰
۶۷/۵	۶۵۳۰۶	۱۰۰۸۹۰	۱۴۶۴۰۰	۲۰۲۴۶۸	۲۶۹۵۳۱	۳۴۷۸۲۸	۴۲۲۴۰۰	۵۳۸۰۹۳	۶۴۹۵۵۶	۷۷۱۲۴۰	۹۰۲۴۰۰	۱۱۸۹۱۸۱	۱۵۰۰۰۰۰	۱۸۲۱۸۰۶
۷۰	۶۸۱۱۹	۱۰۵۳۵۶	۱۵۳۰۶۷	۲۱۱۹۶۱	۲۸۲۵۵۲	۳۶۵۱۵۸	۴۵۹۹۰۰	۵۶۶۷۰۰	۶۸۵۲۸۵	۸۱۵۱۸۶	۹۵۵۷۳۳	۱۲۶۵۱۱۹	۱۶۰۴۱۶۷	۱۹۶۰۴۵۲
۷۲/۵	۷۰۹۳۱	۱۰۹۸۲۳	۱۵۹۷۳۳	۲۲۱۴۵۳	۲۹۵۵۷۳	۳۸۲۴۸۹	۴۸۲۴۰۰	۵۹۵۳۰۷	۷۲۱۰۱۵	۸۵۹۱۳۱	۱۰۰۹۰۶۷	۱۳۴۱۰۵۶	۱۷۰۸۳۳۳	۲۰۹۹۰۹۸
۷۵	۷۲۷۴۴	۱۱۴۲۸۹	۱۶۶۴۰۰	۲۳۰۹۴۵	۳۰۸۵۹۴	۳۹۹۸۲۰	۵۰۴۹۰۰	۶۲۳۹۱۴	۷۵۶۷۴۴	۹۰۳۰۷۶	۱۰۶۲۴۰۰	۱۴۱۶۹۹۴	۱۸۱۲۵۰۰	۲۳۳۷۷۴۴
۷۷/۵	۷۶۵۵۶	۱۱۸۷۵۵	۱۷۳۰۶۷	۲۴۰۴۳۷	۳۲۱۶۱۵	۴۱۷۱۵۱	۵۲۷۴۰۰	۶۵۲۵۲۰	۷۹۲۴۷۳	۹۴۷۰۲۱	۱۱۱۵۷۳۳	۱۴۹۲۹۳۱	۱۹۱۶۶۶۷	۲۳۷۶۳۹۰
۸۰	۷۹۳۶۹	۱۲۳۲۲۱	۱۷۹۷۳۳	۲۴۹۹۲۹	۳۳۴۶۳۵	۴۳۴۴۸۱	۵۴۹۹۰۰	۶۸۱۱۲۷	۸۲۸۲۰۲	۹۹۰۹۶۷	۱۱۶۹۰۶۷	۱۵۶۸۸۶۹	۲۰۲۰۸۳۳	۲۵۱۵۰۳۵
۸۲/۵	۸۲۱۸۱	۱۲۷۸۸۷	۱۸۶۴۰۰	۲۵۹۴۲۱	۳۴۷۶۵۶	۴۵۱۸۱۲	۵۷۲۴۰۰	۷۰۹۷۳۴	۸۶۳۹۳۱	۱۰۳۴۹۱۲	۱۲۲۲۴۰۰	۱۶۴۴۸۰۶	۲۱۲۵۰۰۰	۲۶۵۳۶۸۱
۸۵	۸۴۹۹۴	۱۳۲۱۵۳	۱۹۳۰۶۷	۲۶۸۹۱۴	۳۶۰۶۷۷	۴۶۹۱۴۳	۵۹۴۹۰۰	۷۳۸۳۴۱	۸۹۹۶۶۰	۱۰۷۸۸۵۷	۱۲۷۵۷۳۳	۱۷۲۰۷۴۴	۲۲۲۹۱۶۷	۲۷۹۲۳۲۷
۸۷/۵	۸۷۸۰۶	۱۳۶۶۱۹	۱۹۹۷۳۳	۲۷۸۷۰۶	۳۷۳۶۹۸	۴۸۶۴۷۴	۶۱۷۴۰۰	۷۶۶۹۴۸	۹۳۵۳۹۰	۱۱۲۲۸۰۳	۱۳۲۹۰۶۷	۱۷۹۶۶۸۱	۲۳۳۳۳۳۳	۲۹۳۰۹۷۳
۹۰	۹۰۶۱۹	۱۴۱۰۸۶	۲۰۶۴۰۰	۲۷۷۸۹۸	۳۸۶۷۱۹	۵۰۳۸۰۴	۶۳۹۹۰۰	۷۹۵۵۵۴	۹۷۱۱۱۹	۱۱۶۶۷۴۸	۱۳۸۲۴۰۰	۱۸۷۲۶۱۹	۲۴۳۷۵۰۰	۳۰۶۹۶۱۹
۹۲/۵	۹۳۴۳۱	۱۴۵۵۵۲	۲۱۳۰۶۷	۲۹۷۲۹۰	۳۹۹۷۴۰	۵۲۱۱۳۵	۶۶۲۴۰۰	۸۲۴۱۶۱	۱۰۰۸۴۴۸	۱۲۱۰۶۹۳	۱۴۳۵۷۳۳	۱۹۴۸۵۵۶	۲۵۴۱۶۶۷	۳۲۰۸۲۶۵
۹۵	۹۶۲۴۴	۱۵۰۰۱۸	۲۱۹۷۳۳	۳۰۶۸۸۲	۴۱۲۷۶۰	۵۳۸۴۶۶	۶۸۴۹۰۰	۸۵۲۷۶۸	۱۰۴۲۵۷۷	۱۲۵۴۶۳۹	۱۴۸۹۰۶۷	۲۰۲۴۴۹۴	۲۶۴۵۸۳۳	۳۳۴۶۹۱۰
۹۷/۵	۹۹۰۵۶	۱۵۴۴۸۴	۲۲۶۴۰۰	۳۱۶۳۷۵	۴۲۵۷۸۱	۵۵۵۷۹۶	۷۰۷۴۰۰	۸۸۱۳۷۵	۱۰۷۸۳۰۶	۱۲۹۸۵۸۴	۱۵۴۲۴۰۰	۲۱۰۰۴۳۱	۲۷۵۰۰۰۰	۳۴۸۵۵۵۶
۱۰۰	۱۰۱۸۶۹	۱۵۸۹۵۰	۲۳۳۰۶۷	۳۲۵۸۶۷	۴۳۸۸۰۲	۵۷۳۱۲۷	۷۲۹۹۰۰	۹۰۹۷۲۱	۱۱۱۴۰۳۵	۱۳۴۲۵۲۹	۱۵۹۵۷۳۳	۲۱۷۶۳۶۹	۲۸۵۴۱۶۷	۳۶۲۴۲۰۲

دال ۳-۱) ضریب سختی k_c برای ستونهای دارای سر ستون با پخ ۴۵ درجه

مراجع : بند ۱۵-۶-۶ آیین‌نامه بتن ایران.

$$K_c = \frac{k_c . E_{cc} . I_c}{\ell_c}$$



a = طولی از ستون که صلب فرض می‌شود. b' = عمق پخ ۴۵ درجه از زیر سقف

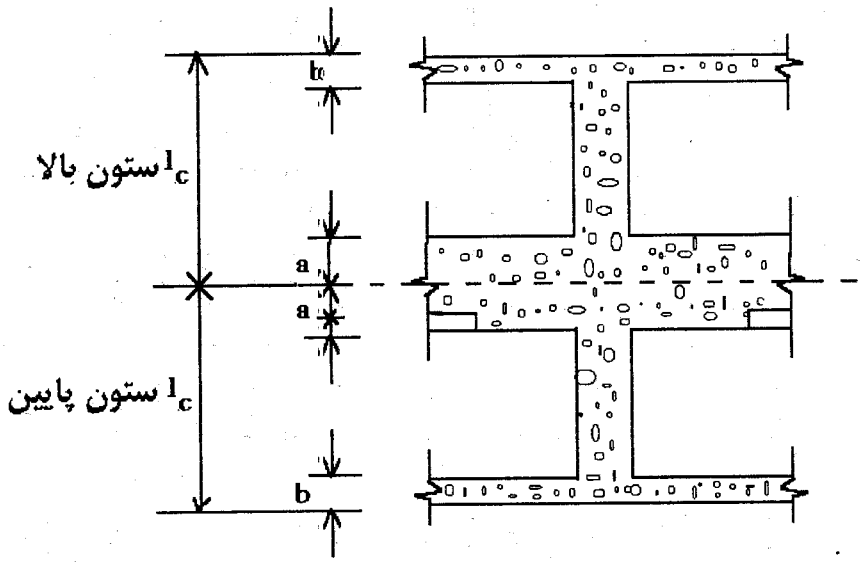
تذکر : عدد فوقانی جدول برای انتهای دارای سر ستون و عدد تحتانی آن برای انتهای تحتانی ستون می‌باشد.

b'/ℓ_c	ضریب سختی kc									
	a/ℓ_c									
	۰/۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۰	۰/۰۲۵	۰/۰۳۰	۰/۰۳۵	۰/۰۴۰	۰/۰۴۵	۰/۰۵۰
۰/۰	۴/۰۰۰	۴/۱۰۲	۴/۲۰۸	۴/۳۱۸	۴/۴۳۳	۴/۵۵۲	۴/۶۷۶	۴/۸۰۵	۴/۹۴۰	۵/۰۲۰	۵/۲۲۶
	۴/۰۰۰	۴/۱۰۲	۴/۲۰۸	۴/۳۱۸	۴/۴۳۳	۴/۵۵۲	۴/۶۷۶	۴/۸۰۵	۴/۹۴۰	۵/۰۲۰	۵/۲۲۶
۰/۰۲	۴/۰۱۳	۴/۱۱۵	۴/۲۲۲	۴/۳۳۲	۴/۴۴۸	۴/۵۶۷	۴/۶۹۲	۴/۸۲۲	۴/۹۵۷	۵/۰۹۸	۵/۲۴۵
	۴/۰۰۳	۴/۱۰۵	۴/۲۱۱	۴/۳۲۲	۴/۴۳۶	۴/۵۵۸	۴/۶۸۰	۴/۸۱۰	۴/۹۴۴	۵/۰۲۵	۵/۲۳۲
۰/۰۴	۴/۰۵۰	۴/۱۵۴	۴/۲۶۱	۴/۳۷۳	۴/۴۹۰	۴/۶۱۱	۴/۷۳۸	۴/۸۶۹	۵/۰۰۶	۵/۱۴۹	۵/۲۹۸
	۴/۰۱۲	۴/۱۱۵	۴/۲۲۱	۴/۳۳۲	۴/۴۴۷	۴/۵۶۷	۴/۶۹۲	۴/۸۲۲	۴/۹۵۸	۵/۰۹۹	۵/۲۴۶
۰/۰۶	۴/۱۰۸	۴/۲۱۴	۴/۳۲۳	۴/۴۳۲	۴/۵۵۷	۴/۶۸۰	۴/۸۰۹	۴/۹۴۳	۵/۰۸۳	۵/۲۲۹	۵/۳۸۲
	۴/۰۲۵	۴/۱۲۹	۴/۲۳۶	۴/۳۴۷	۴/۴۶۳	۴/۵۴۸	۴/۷۱۰	۴/۸۴۱	۴/۹۷۸	۵/۱۲۰	۵/۲۸۹
۰/۰۸	۴/۱۸۵	۴/۲۹۳	۴/۴۰۶	۴/۵۲۳	۴/۶۶۵	۴/۷۷۲	۴/۹۰۵	۵/۰۴۲	۵/۱۸۶	۵/۳۳۶	۵/۴۹۲
	۴/۰۴۲	۴/۱۴۷	۴/۲۵۵	۴/۳۶۷	۴/۴۸۴	۴/۶۰۶	۴/۷۳۳	۵/۸۶۶	۵/۰۰۳	۵/۱۴۷	۵/۲۹۷
۰/۱۰	۴/۲۸۰	۴/۳۹۲	۴/۵۰۸	۴/۶۲۹	۴/۷۵۵	۴/۸۸۶	۵/۰۲۲	۵/۱۶۴	۵/۳۱۳	۵/۴۶۷	۵/۶۲۹
	۴/۰۶۳	۴/۱۶۸	۴/۲۷۷	۴/۳۹۱	۴/۵۰۹	۴/۶۳۳	۴/۷۶۱	۴/۸۹۵	۵/۰۳۴	۵/۱۸۰	۵/۶۳۱
۰/۱۲	۴/۳۹۳	۴/۵۰۹	۴/۶۲۸	۴/۷۵۴	۴/۸۸۴	۵/۰۲۰	۵/۱۶۱	۵/۳۰۸	۵/۴۶۲	۵/۶۲۳	۵/۷۹۰
	۴/۰۸۶	۴/۱۹۲	۴/۳۰۳	۴/۴۱۸	۴/۵۳۸	۴/۶۶۲	۴/۷۹۲	۴/۹۲۸	۵/۰۶۹	۵/۲۱۶	۵/۳۷۰
۰/۱۴	۴/۵۲۲	۴/۶۴۲	۴/۷۶۷	۴/۸۹۷	۵/۰۳۲	۵/۱۷۴	۵/۳۲۱	۵/۸۷۴	۵/۶۳۴	۵/۸۰۱	۵/۹۳۵
	۴/۱۱۲	۴/۲۱۹	۴/۳۳۱	۴/۴۴۸	۴/۵۶۹	۴/۶۹۵	۴/۸۲۷	۴/۹۶۴	۵/۱۰۷	۵/۲۵۷	۵/۴۱۳
۰/۱۶	۴/۶۶۷	۴/۷۹۳	۴/۹۲۳	۵/۰۵۹	۵/۲۰۰	۵/۳۴۷	۵/۵۰۴	۵/۶۶۱	۵/۸۲۸	۶/۰۰۲	۶/۱۸۴
	۴/۱۳۹	۴/۲۴۸	۴/۳۶۲	۴/۴۸۰	۴/۶۰۳	۴/۷۳۱	۴/۸۶۴	۵/۰۰۴	۵/۱۴۹	۵/۳۰۱	۵/۴۵۹
۰/۱۸	۴/۸۳۰	۴/۹۶۱	۵/۰۹۷	۵/۲۳۹	۵/۳۸۷	۵/۵۴۱	۵/۷۰۱	۵/۸۶۹	۶/۰۴۴	۶/۲۲۶	۶/۴۱۷
	۴/۱۶۹	۴/۲۷۹	۴/۳۹۴	۴/۵۱۴	۴/۶۳۹	۴/۷۶۹	۴/۹۰۴	۵/۰۴۶	۵/۱۹۳	۵/۳۴۷	۵/۵۰۸
۰/۲۰	۵/۰۰۹	۵/۱۴۶	۵/۲۸۹	۵/۴۳۸	۵/۵۹۳	۵/۷۵۴	۵/۹۲۳	۶/۰۹۸	۶/۲۸۲	۶/۷۴۳	۶/۶۷۴
	۴/۲۰۰	۴/۳۱۲	۴/۴۲۹	۵/۵۵۰	۴/۶۷۷	۴/۸۰۹	۴/۹۴۷	۵/۰۹۰	۵/۲۴۰	۵/۳۹۷	۵/۵۶۰
۰/۲۲	۵/۲۰۵	۵/۳۴۹	۵/۴۹۹	۵/۶۵۶	۵/۸۱۸	۵/۹۸۸	۶/۱۶۵	۶/۳۶۰	۶/۵۴۳	۶/۷۴۴	۶/۹۵۵
	۴/۲۳۳	۴/۳۷۶	۴/۴۶۵	۴/۵۸۸	۴/۷۱۷	۴/۸۵۱	۴/۹۹۱	۵/۱۳۷	۵/۲۸۹	۵/۴۴۹	۵/۶۱۵
۰/۲۴	۵/۴۱۹	۵/۵۷۱	۵/۷۲۹	۵/۸۹۳	۶/۰۶۴	۶/۲۴۳	۶/۴۳۰	۶/۶۲۴	۶/۸۲۷	۷/۰۴۰	۷/۲۶۲
	۴/۲۶۶	۴/۳۸۲	۴/۵۰۲	۴/۶۲۸	۴/۷۵۸	۴/۹۱۵	۵/۰۳۷	۵/۱۸۵	۵/۳۴۰	۵/۵۰۲	۵/۶۷۲

دال ۳-۲) ضریب k_c برای ستونهای بدون سر ستون پخ‌دار

مراجع : ACI Journal V.68 , No. 11 , Nov. 1971 , P.830

$$K_c = \frac{k_c . E_{cc} . I_c}{\ell_c}$$



a = طولی از انتهای نزدیک ستون که صلب فرض می‌شود.

b' = طولی از انتهای دور ستون که صلب فرض می‌شود.

b'/ℓc	ضریب سختی kc												
	a/ℓc												
	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۲۴
۰/۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۸۲	۴/۱۶۷	۴/۲۵۵	۴/۳۴۸	۴/۴۴۴	۴/۵۴۲	۴/۶۵۱	۴/۷۶۲	۴/۸۷۸	۵/۰۰۰	۵/۱۲۸	۵/۲۶۳
۰/۰۲	۴/۳۳۷	۴/۴۳۳	۴/۵۳۳	۴/۶۳۸	۴/۷۴۷	۴/۸۶۲	۴/۹۸۳	۵/۱۱۰	۵/۲۴۴	۵/۳۸۴	۵/۵۳۵	۵/۳۹۸	۵/۸۵۶
۰/۰۴	۴/۷۰۹	۴/۸۳۲	۴/۹۴۰	۵/۰۶۳	۵/۱۹۳	۵/۳۳۰	۵/۴۷۵	۵/۶۲۷	۵/۷۸۷	۵/۹۵۸	۶/۱۳۸	۶/۳۲۹	۶/۵۳۳
۰/۰۶	۵/۱۲۲	۵/۲۵۲	۵/۳۹۳	۵/۵۳۹	۵/۶۹۳	۵/۸۵۵	۶/۰۲۷	۶/۲۰۹	۶/۴۰۳	۶/۶۰۸	۶/۸۲۷	۷/۰۶۰	۷/۳۱۰
۰/۰۸	۵/۵۸۱	۵/۷۳۵	۵/۸۹۸	۶/۰۷۰	۶/۲۵۲	۶/۴۴۵	۶/۶۵۰	۶/۸۶۷	۷/۱۰۰	۷/۳۴۸	۷/۶۱۳	۷/۸۹۷	۸/۲۰۳
۰/۱۰	۶/۰۹۱	۶/۲۷۱	۶/۴۶۲	۶/۶۵۵	۶/۸۸۰	۷/۱۰۹	۷/۳۵۳	۷/۶۱۴	۷/۸۹۳	۸/۱۹۲	۸/۵۱۳	۸/۸۵۹	۹/۲۳۳
۰/۱۲	۶/۶۵۹	۶/۸۷۰	۷/۰۹۴	۷/۳۳۳	۷/۸۷۵	۷/۸۵۹	۸/۱۵۰	۸/۴۶۱	۸/۷۹۶	۹/۱۵۷	۹/۹۴۶	۹/۹۶۷	۱۰/۴۳۰
۰/۱۴	۷/۲۹۲	۷/۵۴۰	۷/۸۰۳	۸/۰۸۴	۷/۳۸۵	۸/۷۰۸	۹/۰۵۴	۹/۲۶۲	۹/۸۲۹	۱۰/۲۶۰	۱۰/۷۴۰	۱۱/۲۵۰	۱۱/۸۱۰
۰/۱۶	۸/۰۰۱	۸/۲۹۱	۸/۶۰۰	۸/۹۳۱	۹/۲۸۷	۹/۶۷۰	۱۰/۰۸۰	۱۰/۵۳۰	۱۱/۰۱۰	۱۱/۵۴۰	۱۲/۱۱۰	۱۲/۷۴۰	۱۳/۴۲۰
۰/۱۸	۸/۷۹۶	۹/۱۳۴	۹/۴۹۸	۹/۸۸۸	۱۰/۳۱۰	۱۰/۷۶۰	۱۱/۲۶۰	۱۱/۷۹۰	۱۲/۳۷۰	۱۳/۰۱۰	۱۳/۷۰۰	۱۴/۴۷۰	۱۵/۳۱۰
۰/۲۰	۹/۶۸۷	۱۰/۰۸۰	۱۰/۵۱۰	۱۰/۹۷۰	۱۱/۴۷۰	۱۲/۰۱۰	۱۲/۶۰۰	۱۳/۲۴۰	۱۳/۹۴۰	۱۴/۷۱۰	۱۵/۵۶۰	۱۶/۴۹۰	۱۷/۵۳۰
۰/۲۲	۱۰/۶۹۰	۱۱/۱۶۰	۱۱/۶۶۰	۱۲/۲۰۰	۱۲/۸۰۰	۱۳/۴۴۰	۱۴/۱۴۰	۱۴/۹۱۰	۱۵/۷۶۰	۱۶/۶۹۰	۱۷/۷۱۰	۱۸/۸۷۰	۲۰/۱۵۰
۰/۲۴	۱۱/۸۲۰	۱۲/۳۷۰	۱۲/۹۶۰	۱۳/۶۱۰	۱۴/۳۱۰	۱۵/۰۸۰	۱۵/۹۲۰	۱۶/۸۴۰	۱۷/۸۷۰	۱۹/۰۰۰	۲۰/۲۶۰	۲۱/۶۵۰	۲۳/۲۶۰

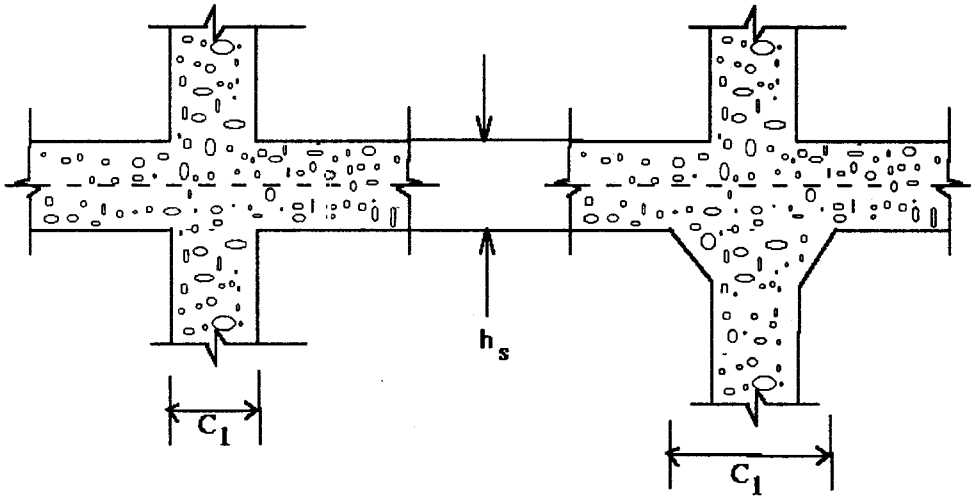
دال ۴-۱) ضریب پخش لنگر برای اعضای تیر- دال و بدون کتیبه به منظور استفاده در روش قاب معادل

مراجع : بند ۱۵-۶-۵-۳ از آیین‌نامه بتن ایران و ACI Journal V.68 , No. 11 , Nov. 1971 , P.828

, بار گسترده یکنواخت (F.E.M)

(K_s) سختی $= \dfrac{k_s . E_{cs} . \ell_2 h_3^3}{12 . \ell_1}$

C = ضریب انتقال



تذکر: مقادیر $\dfrac{C_1}{\ell_1}$ و $\dfrac{C_2}{\ell_2}$ برای ستون در انتهای دور عضو تیر- دال برابر آن مقداری در انتهای ستون است، که ضرایب لنگر برای آن محاسبه شده‌اند.

C_1/ℓ_1	Factors	C_2/ℓ_2										
		۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳	۰/۳۵	۰/۴	۰/۴۵	۰/۵
۰/۰۰	M	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳
	Ks	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰
	C	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰
۰/۰۵	M	۰/۰۸۳	۰/۰۸۴	۰/۰۸۴	۰/۰۸۴	۰/۰۸۵	۰/۰۸۵	۰/۰۸۵	۰/۰۸۶	۰/۰۸۶	۰/۰۸۶	۰/۰۸۶
	Ks	۴/۰۰۰	۴/۰۴۷	۴/۰۹۳	۴/۱۳۸	۴/۱۸۱	۴/۲۲۲	۴/۲۶۱	۴/۲۹۹	۴/۳۳۴	۴/۳۶۸	۴/۳۶۸
	C	۰/۵۰۰	۰/۲۸۳	۰/۵۰۷	۰/۵۱۰	۰/۵۱۳	۰/۵۱۶	۰/۵۱۸	۰/۵۲۱	۰/۵۲۳	۰/۵۹۶	۰/۵۹۶
۰/۱۰	M	۰/۰۸۳	۰/۰۸۴	۰/۰۸۵	۰/۰۸۵	۰/۰۸۶	۰/۰۸۷	۰/۰۸۷	۰/۰۸۸	۰/۰۸۸	۰/۰۸۹	۰/۰۸۹
	Ks	۴/۰۰۰	۴/۰۹۱	۴/۱۸۲	۴/۲۷۲	۴/۳۶۲	۴/۴۴۹	۴/۵۳۵	۴/۶۱۸	۴/۶۹۸	۴/۷۴۴	۴/۸۴۶
	C	۰/۵۰۰	۰/۵۰۶	۰/۵۱۳	۰/۵۱۹	۰/۵۲۴	۰/۵۳۰	۰/۵۳۵	۰/۵۴۰	۰/۵۴۵	۰/۵۵۰	۰/۵۵۴
۰/۱۵	M	۰/۰۸۳	۰/۰۸۴	۰/۰۸۵	۰/۰۸۶	۰/۰۸۷	۰/۰۸۸	۰/۰۸۹	۰/۰۹۰	۰/۰۹۰	۰/۰۹۱	۰/۰۹۲
	Ks	۴/۰۰۰	۴/۱۳۲	۴/۲۶۷	۴/۴۰۳	۴/۵۴۱	۴/۶۸۰	۴/۸۱۸	۴/۹۵۵	۵/۰۹۰	۵/۲۲۲	۵/۳۴۹
	C	۰/۵۰۰	۰/۵۰۹	۰/۵۱۷	۰/۵۲۶	۰/۵۳۴	۰/۵۴۳	۰/۵۵۰	۰/۵۵۸	۰/۵۶۵	۰/۵۷۲	۰/۵۷۹
۰/۲۰	M	۰/۰۸۳	۰/۰۸۵	۰/۰۸۶	۰/۰۸۷	۰/۰۸۸	۰/۰۸۹	۰/۰۹۰	۰/۰۹۱	۰/۰۹۲	۰/۰۹۳	۰/۰۹۴
	Ks	۴/۰۰۰	۴/۱۷۰	۴/۳۴۶	۴/۵۲۹	۴/۷۱۷	۴/۹۱۰	۵/۱۰۸	۵/۳۰۸	۵/۵۰۹	۵/۷۱۰	۵/۹۰۸
	C	۰/۵۰۰	۰/۵۱۱	۰/۵۲۲	۰/۵۳۲	۰/۵۴۳	۰/۵۵۴	۰/۵۶۴	۰/۵۷۴	۰/۵۸۴	۰/۵۹۳	۰/۶۰۲
۰/۲۵	M	۰/۰۸۳	۰/۰۸۵	۰/۰۸۶	۰/۰۸۷	۰/۰۸۹	۰/۰۹۰	۰/۰۹۱	۰/۰۹۳	۰/۰۹۴	۰/۰۹۵	۰/۰۹۶
	Ks	۴/۰۰۰	۴/۲۰۴	۴/۴۲۰	۴/۶۴۸	۴/۸۸۷	۴/۱۳۸	۵/۴۰۱	۵/۶۷۲	۵/۹۵۲	۶/۲۳۸	۶/۵۲۷
	C	۰/۵۰۰	۰/۵۱۲	۰/۵۲۵	۰/۵۳۸	۰/۵۵۰	۰/۵۶۳	۰/۵۷۶	۰/۵۸۸	۰/۶۰۰	۰/۶۱۲	۰/۶۲۳

C_1/ℓ_1	Factors	C_2/ℓ_2										
		۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳	۰/۳۵	۰/۴	۰/۴۵	۰/۵
۰/۳۰	M	۰/۰۸۳	۰/۰۸۵	۰/۰۸۶	۰/۰۸۸	۰/۰۸۹	۰/۰۹۱	۰/۰۹۲	۰/۰۹۴	۰/۰۹۵	۰/۰۹۶	۰/۰۹۸
	Ks	۴/۰۰۰	۴/۲۳۵	۴/۴۸۸	۴/۷۶۰	۴/۰۵۰	۴/۳۶۱	۵/۶۹۲	۶/۰۴۴	۰/۴۱۴	۶/۸۰۲	۷/۲۰۵
	C	۰/۵۰۰	۰/۵۱۴	۰/۵۲۷	۰/۵۴۲	۰/۵۵۶	۰/۵۷۱	۰/۵۸۵	۰/۶۰۰	۰/۶۱۴	۰/۶۲۸	۰/۶۴۲
۰/۳۵	M	۰/۰۸۳	۰/۰۸۵	۰/۰۸۷	۰/۰۸۸	۰/۰۹۰	۰/۰۹۱	۰/۰۹۳	۰/۰۹۵	۰/۰۹۶	۰/۰۹۸	۰/۰۹۹
	Ks	۴/۰۰۰	۴/۲۶۴	۴/۵۵۱	۴/۸۶۴	۴/۲۰۴	۴/۵۷۵	۵/۹۷۹	۶/۴۱۶	۶/۸۸۸	۷/۳۹۵	۷/۹۳۵
	C	۰/۵۰۰	۰/۵۱۴	۰/۵۲۹	۰/۵۴۵	۰/۵۶۰	۰/۵۷۶	۰/۵۹۳	۰/۶۰۹	۰/۶۲۶	۰/۶۴۲	۰/۶۵۸
۰/۴۰	M	۰/۰۸۳	۰/۰۸۵	۰/۰۸۷	۰/۰۸۷	۰/۰۹۰	۰/۰۹۲	۰/۰۹۴	۰/۰۹۵	۰/۰۹۷	۰/۰۹۹	۰/۱۰۰
	Ks	۴/۰۰۰	۴/۲۸۹	۴/۶۰۷	۴/۹۵۹	۴/۳۴۸	۴/۷۷۸	۶/۲۵۵	۶/۷۸۲	۷/۳۶۵	۸/۰۰۷	۸/۷۱۰
	C	۰/۵۰۰	۰/۵۱۵	۰/۵۳۰	۰/۵۴۶	۰/۵۶۳	۰/۵۸۰	۰/۵۹۸	۰/۶۱۷	۰/۶۳۵	۰/۶۵۴	۰/۶۷۲
۰/۴۵	M	۰/۰۸۳	۰/۰۸۵	۰/۰۸۷	۰/۰۸۷	۰/۰۹۰	۰/۰۹۲	۰/۰۹۴	۰/۰۹۶	۰/۰۹۸	۰/۱۰۰	۰/۱۰۱
	Ks	۴/۰۰۰	۴/۳۱۱	۴/۶۵۸	۵/۰۴۶	۵/۴۸۰	۵/۹۶۷	۶/۵۱۷	۷/۱۳۶	۷/۸۳۶	۸/۶۲۵	۹/۵۱۴
	C	۰/۵۰۰	۰/۵۱۵	۰/۵۳۰	۰/۵۴۷	۰/۵۶۴	۰/۵۸۳	۰/۶۰۲	۰/۶۲۱	۰/۶۴۲	۰/۶۶۲	۰/۶۸۳
۰/۵۰	M	۰/۰۸۳	۰/۰۸۵	۰/۰۸۷	۰/۰۸۸	۰/۰۹۰	۰/۰۹۲	۰/۰۹۴	۰/۰۹۶	۰/۰۹۸	۰/۱۰۰	۰/۱۰۲
	Ks	۴/۰۰۰	۴/۳۳۱	۴/۷۰۳	۵/۱۲۳	۵/۵۹۹	۵/۱۴۱	۶/۷۶۰	۷/۴۷۰	۸/۲۸۹	۹/۲۳۴	۰/۳۲۹
	C	۰/۵۰۰	۰/۵۱۵	۰/۵۳۰	۰/۵۴۷	۰/۵۶۴	۰/۵۸۳	۰/۶۰۳	۰/۶۲۴	۰/۶۴۵	۰/۶۶۷	۰/۶۹۰

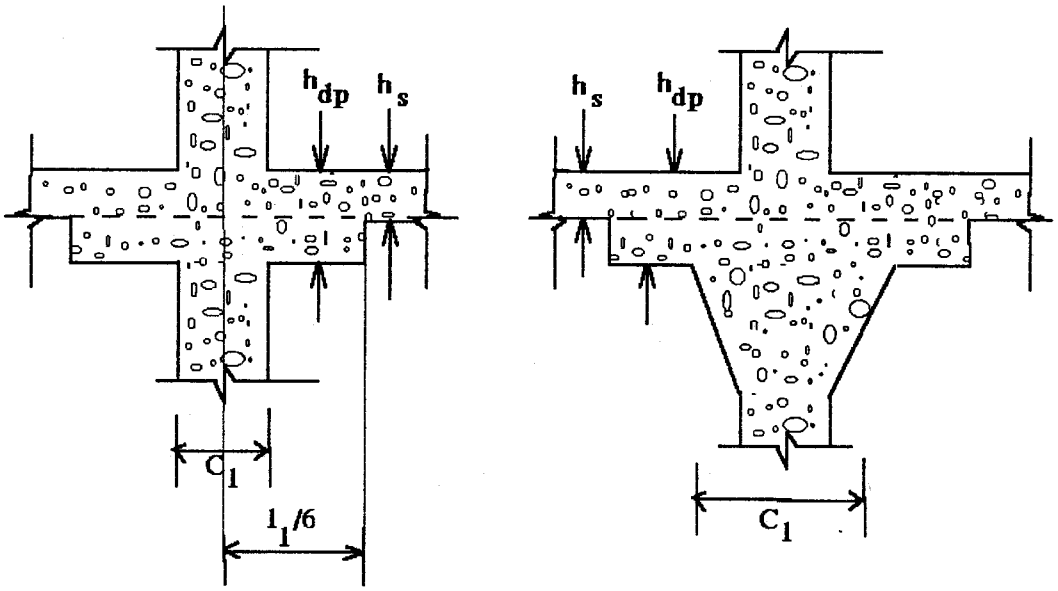
دال ۴-۲) ضرایب پخش لنگر برای اعضای تیر دال و دارای کتیبه به منظور استفاده در روش قاب معادل

مراجع : بند ۱۵-۶-۵-۳ از آیین‌ناهم بتن ایران و ACI Journal V.68 , No. 11 , Nov. 1971 , P.829

لنگر گیرداری انتهایی تحت اثر بار گسترده یکنواخت (F.E.M) $= M.w_u.I_2.\ell_1^2$

سختی $(K_s) = \dfrac{k_s.E_{cs}.\ell_2 h_3^3}{12.\ell_1}$

C = ضریب انتقال



تذکر: مقادیر $\dfrac{C_1}{\ell_1}$ و $\dfrac{C_2}{\ell_2}$ برای ستون در انتهای دور عضو تیر- دال برابر آن مقداری در انتهـای سـتون اسـت، کـه ضـرایب لنگـر بـرای آن محاسبه شده‌اند.

h_{dp}/h_s	C_1/ℓ_1	Factors	C_2/ℓ_2							
			۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳
۱/۲۵	۰/۰۰	M	۰/۰۸۸	۰/۰۸۸	۰/۰۸۸	۰/۰۸۸	۰/۰۸۸	۰/۰۸۳	۰/۰۸۸
		Ks	۴/۷۹۵	۴/۷۹۵	۴/۷۹۵	۴/۷۹۵	۴/۷۹۵	۴/۷۹۵	۴/۷۹۷
		C	۰/۵۴۲	۰/۵۴۲	۰/۵۴۲	۰/۵۴۲	۰/۵۴۲	۰/۵۴۲	۰/۵۴۲
	۰/۰۵	M	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۹	۰/۰۸۹	۰/۰۸۹	۰/۰۸۹	۰/۰۹۰
		Ks	۴/۷۹۵	۴/۸۴۶	۴/۸۹۶	۴/۹۴۴	۴/۹۹۰	۵/۰۳۵	۵/۰۷۷
		C	۰/۵۴۲	۰/۵۴۵	۰/۵۴۸	۰/۵۵۱	۰/۵۵۳	۰/۵۵۶	۰/۵۵۸
	۰/۱۰	M	۰/۰۸۸	۰/۰۸۸	۰/۰۸۹	۰/۰۹۰	۰/۰۹۰	۰/۰۹۱	۰/۰۹۱
		Ks	۴/۷۹۵	۴/۸۹۴	۴/۹۹۲	۵/۰۳۹	۵/۱۸۴	۵/۲۷۸	۵/۳۶۸
		C	۰/۵۴۲	۰/۵۴۸	۰/۵۵۳	۰/۵۵۹	۰/۵۶۴	۰/۵۶۹	۰/۵۷۳
	۰/۱۵	M	۰/۰۸۸	۰/۰۸۹	۰/۰۹۰	۰/۰۹۰	۰/۰۹۱	۰/۰۹۲	۰/۰۹۲
		Ks	۴/۷۹۵	۴/۹۳۸	۵/۰۸۲	۵/۲۲۸	۵/۳۴۷	۵/۵۲۰	۵/۶۶۵
		C	۰/۵۴۲	۰/۵۵۰	۰/۵۵۸	۰/۵۶۵	۰/۵۷۳	۰/۵۸۰	۰/۵۸۷
	۰/۲۰	M	۰/۰۸۸	۰/۰۸۹	۰/۰۹۰	۰/۰۹۱	۰/۰۹۲	۰/۰۹۳	۰/۰۹۴
		Ks	۴/۷۹۵	۴/۹۷۸	۵/۱۶۷	۵/۳۶۱	۵/۵۵۸	۵/۷۶۰	۵/۹۶۲
		C	۰/۵۴۲	۰/۵۵۲	۰/۵۶۲	۰/۵۷۱	۰/۵۸۱	۰/۵۹۰	۰/۵۹۶
	۰/۲۵	M	۰/۰۸۸	۰/۰۸۹	۰/۰۹۰	۰/۰۹۱	۰/۰۹۲	۰/۰۹۴	۰/۰۹۵
		Ks	۴/۷۹۵	۵/۰۱۵	۵/۲۴۵	۵/۴۸۵	۵/۷۳۵	۵/۹۹۴	۶/۲۶۱
		C	۰/۵۴۲	۰/۵۵۳	۰/۵۶۵	۰/۵۷۶	۰/۵۸۷	۰/۵۹۸	۰/۶۰۰
	۰/۳۰	M	۰/۰۸۸	۰/۰۸۹	۰/۰۹۰	۰/۰۹۲	۰/۰۹۳	۰/۰۹۴	۰/۰۹۵
		Ks	۴/۷۹۵	۵/۰۴۸	۵/۳۱۷	۵/۶۰۱	۵/۹۰۲	۶/۲۱۹	۶/۵۵۰
		C	۰/۵۴۲	۰/۵۵۴	۰/۵۶۷	۰/۵۸۰	۰/۵۹۳	۰/۶۰۵	۰/۶۱۸

h_{dp}/h_s	C_1/ℓ_1	Factors	C_2/ℓ_2						
			۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳
۱/۵۰	۰/۰۰	M	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳
		Ks	۵/۸۳۷	۵/۸۳۷	۵/۸۳۷	۵/۸۳۷	۵/۸۳۷	۵/۸۳۷	۵/۸۳۷
		C	۰/۵۸۹	۰/۵۸۹	۰/۵۸۹	۰/۵۸۹	۰/۵۸۹	۰/۵۸۹	۰/۵۸۹
	۰/۰۵	M	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۴	۰/۰۹۴	۰/۰۹۴
		Ks	۵/۸۳۷	۵/۸۹۰	۵/۹۴۲	۵/۹۹۳	۶/۰۴۱	۶/۰۸۷	۶/۱۳۱
		C	۰/۵۸۹	۰/۵۹۱	۰/۵۹۴	۰/۵۹۶	۰/۵۹۸	۰/۶۰۰	۰/۶۰۲
	۰/۱۰	M	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۴	۰/۰۹۴	۰/۰۹۴	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵
		Ks	۵/۸۳۷	۵/۹۴۰	۶/۰۴۲	۶/۱۴۲	۶/۲۴۰	۶/۳۳۵	۶/۴۲۷
		C	۰/۵۸۹	۰/۵۹۳	۰/۵۹۸	۰/۶۰۲	۰/۶۰۷	۰/۶۱۱	۰/۶۱۵
	۰/۱۵	M	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۴	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۶	۰/۰۹۶
		Ks	۵/۸۳۷	۵/۹۸۶	۶/۱۳۵	۶/۲۸۴	۶/۴۳۲	۶/۵۷۹	۶/۷۲۳
		C	۰/۵۸۹	۰/۵۹۵	۰/۶۰۲	۰/۶۰۸	۰/۶۱۴	۰/۶۲۰	۰/۶۲۶
	۰/۲۰	M	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۴	۰/۰۹۵	۰/۰۹۶	۰/۰۹۶	۰/۰۹۷
		Ks	۵/۸۳۷	۶/۰۲۷	۶/۲۲۱	۶/۴۱۸	۶/۶۱۶	۶/۸۱۶	۷/۰۱۵
		C	۰/۵۸۹	۰/۵۹۷	۰/۶۰۵	۰/۶۱۳	۰/۶۲۱	۰/۶۲۸	۰/۶۳۵
	۰/۲۵	M	۰/۰۹۳	۰/۰۹۴	۰/۰۹۴	۰/۰۹۵	۰/۰۹۶	۰/۰۹۷	۰/۰۹۸
		Ks	۵/۸۳۷	۶/۰۶۵	۶/۳۰۰	۶/۵۴۳	۶/۷۹۰	۷/۰۴۳	۷/۲۹۸
		C	۰/۵۸۹	۰/۵۹۸	۰/۶۰۸	۰/۶۱۷	۰/۶۲۶	۰/۶۳۵	۰/۶۴۴
	۰/۳۰	M	۰/۰۹۳	۰/۰۹۴	۰/۰۹۵	۰/۰۹۶	۰/۰۹۷	۰/۰۹۸	۰/۰۹۹
		Ks	۵/۸۳۷	۶/۰۹۹	۶/۳۷۲	۶/۶۵۷	۶/۹۵۳	۷/۲۵۸	۷/۵۷۱
		C	۰/۵۸۹	۰/۵۹۹	۰/۶۱۰	۰/۶۲۰	۰/۶۳۱	۰/۶۴۱	۰/۶۵۱

دیوارهای حائل

مثال **طرح دیوار حائل بتنی در برابر فشارهای وارده از طرف خاک**

دیوار حائل شکل زیر را در برابر بارهای وارده طرح نمایید.

: مشخصات

$\gamma_1 = 18\ KN/m^3$

$\phi_1 = 30^\circ$

$C_1 = 0$

$\gamma_2 = 17.5\ KN/m^3$

$\phi_2 = 28^\circ$

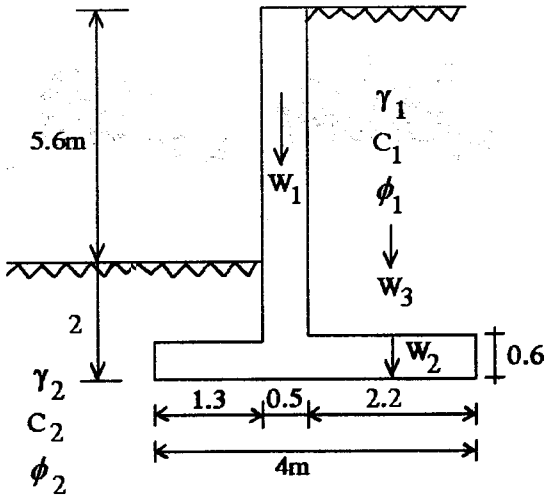
$C_2 = 12\ KN/m^2$

تنش مجاز خاک $q_a = 200\ KN/m^2$

وزن مخصوص بتن $\gamma_b = 25\ KN/m^3$

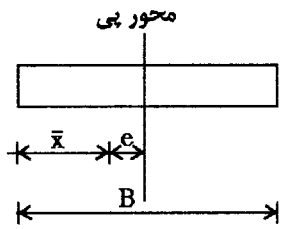
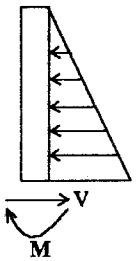
$f_c = 20\ MPa$

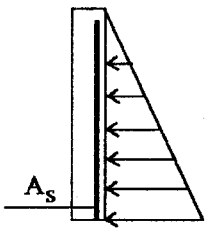
$f_y = 300\ MPa$

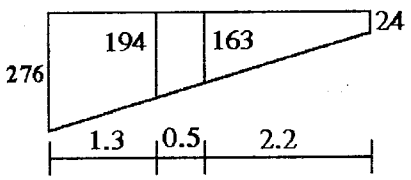


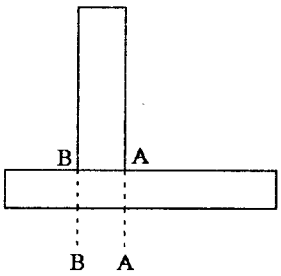
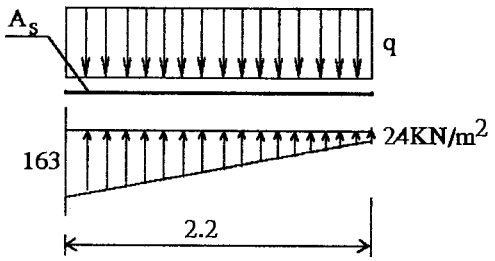
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$k_{a1} = \tan^2(45 - \frac{30}{2}) = 0.3333$ $k_{a2} = \tan^2(45 + \frac{28}{2}) = 2.7698$	**گام اول)** محاسبه k_{a1} و k_{p2} با توجه به تئوری رانکین برای حالتی که شیب سطح خاک نسبت به افق برابر صفر است داریم: $k_{a1} = \tan^2(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2})$ $k_{a2} = \tan^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_2}{2})$	
		گام دوم) کنترل لنگر واژگونی در این مرحله نسبت به گوشه سمت چپ پی لنگر می‌گیریم. باید نسبت لنگر مقاوم به لنگر واژگون کننده بزرگتر از ۱/۵ تا ۲ باشد.	

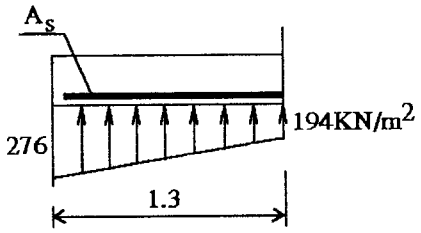
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$P_{a1}=\frac{18\times7.6^2}{2}\times0.3333=173.3\ KN$ $W_1=0.5\times7\times25=87.5\ KN$ $b_1=1.55\ m$ (فاصله W_1 از گوشه سمت چپ پی) $W_2=0.6\times4\times25=60\ KN$ $b_2=2\ m$ $W_3=2.2\times7\times18=277.2\ KN$ $b_3=2.9\ m$ $R=87.5+60+277.2=424.7\ KN$ $M_r=87.5\times1.55+60\times2+277.2\times2.9$ $=1059.5\ KN.m$ $M_0=173.3\times\frac{7.6}{3}=439\ KN.m$ $F.S.=\frac{1059.5}{439}=2.41>2$ O.K.	$P_{a1}=\frac{\gamma_1.H_1^2}{2}K_{a1}$ $R=\Sigma W_i$ $M_r=\Sigma W_i\,.\,b_i$ $M_0=P_{a1}.\frac{H_1}{3}$ $F.S.=\frac{M_r}{M_0}$ تذکر: در این مرحله از اثر فشار پاسیو خاک صرف نظر شده است. بدیهی است که این فرض در جهت ضریب اطمینان است.	
	$P_p=\frac{1}{2}\times17.5\times2^2\times2.7698+2\times12\times$ $2\times\sqrt{2.7698}=176.8\ KN$	**گام سوم)** کنترل لغزش $P_{p2}=\frac{1}{2}\gamma_2\,H_2^2\,k_{p2}+2C_2\,H_2\sqrt{K_{p2}}$ $F.S.=\frac{R.\tan\delta+C'B+P_{p2}}{P_{a1}}$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$F.S.=\frac{424.7\times\tan(\frac{2}{3}\times28)+\frac{2}{3}\times12\times4+176.8}{173.3}$ $= 2.03 > 2$ O.K. تذکر: به مقدار R می‌توان وزن خاک سمت چپ را نیز اضافه کرد.	δ و C' به ترتیب زاویه اصطکاک و ضریب چسبندگی بین کف پی و خاک می‌باشند. می‌توان فرض کرد: $C'=\frac{2}{3}C \quad , \quad \delta=\frac{2}{3}\phi$ مقدار F.S. باید از ۱/۵ تا ۲ بیشتر باشد.	
	$\overline{X}=\frac{1059.5-439}{424.7}=1.46$ m $e=\frac{4}{2}-1.46=0.54$ m $q=\frac{424.7}{4}(1\pm\frac{6\times0.54}{4})$ بنابراین $q_1 = 192.2$ KN/m^2 $< q_a$ O.K. و $q_2 = 20.2$ KN/m^2 $< q_a$ O.K.	**گام چهارم)** کنترل تنش‌های زیر پی $\overline{X}=\frac{M_r-M_o}{R}$  $e=\frac{B}{2}-\overline{X}$ $q=\frac{R}{B}(1\pm\frac{6e}{B})$	
		گام پنجم) محاسبه برش و لنگر نهایی در پای دیوار  	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$V_H = \frac{18\times 7^2}{2}\times 0.3333 = 147\ KN$ $V_u = 1.5\times 147 = 220.5\ KN$ $M_H = \frac{18\times 7^3}{6}\times 0.3333 = 343\ KN.m$ $M_u = 1.5\times 343 = 514.5\ KN.m$	$V_H = \frac{\gamma_1 . H^2}{2} k_{a1}$ $V_u = 1.5\ Q_H$ $M_H = \frac{\gamma_1 . H^3}{6} k_{a1}$ $M_u = 1.5\ M_H$	۶-۳-۵-۱۰
		گام ششم) کنترل برش در پای دیوار $V_c = 0.2\phi_c\sqrt{f_c}\ .b.d$ البته می‌توان برش را در فاصله d از انتهای دیوار نیز کنترل نمود.	۱-۱-۳-۱۲ ۱-۲-۱۷-۱۲
	$V_c = 0.2\times 0.6\sqrt{20}\times 1\times 0.44\times 10^3$ $V_c = 236.1\ KN > V_u$ O.K.		
		گام هفتم) محاسبه آرماتورهای لازم در پای دیوار  $R = \frac{M_u}{bd^2}$ $\rho = \frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2R}{0.85\phi_c f_c}}\right]$ $\rho_{max} = 0.85\beta_1\times\frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\cdot\frac{600}{600+f_y}$	۲-۱-۱۶ ۳-۲-۵-۱۱ ۱-۵-۱۱
	$R = \frac{514.5\times 10^{-3}}{1\times 0.44^2} = 2.658 Mpa$ $\rho = \frac{0.85\times 0.6\times 20}{1\times 0.44^2}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times 2.658}{0.85\times 0.6\times 20}}\right]$ $\rho_{max} = 0.85\times 0.85\times\frac{0.6\times 20}{0.85\times 300}\times\frac{600}{600+300}$ $\rho_{max} = 0.0227 > \rho$ O.K.		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$A_s = 0.0123\times100\times44=54.12\ \ cm^2/m$ $\therefore$ Use Φ 28/10 , $A_s = 61.58\ cm^2/m$ تذکر: آرماتورهای مصرفی را می‌توان در قسمتهای فوقانی دیوار کاهش داد. البته در این قسمتها نیز باید ضوابط آرماتورگذاری حداقل رعایت شود.	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$	
		گام هشتم) محاسبه تنش‌های زیر پی در حالت نهایی	
	$M_{ou} = 1.5\times(173.3\times\frac{7.6}{3}) = 658.5\ KN.m$	$M_{ou} = 1.5(P_{a1}.\frac{H_1}{3})$	۶-۳-۵-۱۰
	$M_{ru} = 1.25(87.5\times1.55+60\times2)+1.5(277.2\times2.9)$ $= 1525.4\ \ KN.m$	$M_{ru} = 1.25(W_1.b_1 + W_2.b_2)+1.5(W_3.b_3)$	
	$R_u = 1.25(87.5+60)+1.5\times277.2=600.2\ \ KN$	$R_u = 1.25\ (W_1 + W_2)+1.5\times W_3$	
	$\overline{X}_u = \frac{1525.4-658.5}{600.2} = 1.44\ m$	$\overline{X}_u = \frac{M_{ru}-M_{ou}}{R_u}$	
	$e_u = \frac{4}{2}-1.44 = 0.56\ m$	$e_u = \frac{B}{2}-\overline{X}_u$	
	$q_u = \frac{600.2}{4}(1\pm\frac{6\times0.56}{4})$ بنابراین $q_{u1} = 276\ \ KN/m^2$ و $q_{u2} = 24\ \ KN/m^2$  	$q_u = \frac{R_u}{B}(1\pm\frac{6e_u}{B})$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام نهم)	
		کنترل برش و محاسبه آرماتورهای لازم در شالوده	
			
	برای مقطع A-A داریم:		
			
	$q = 1.5\,(18\times7)+1.25\,(25\times0.6) = 208\ KN/m^2$	وزن شالوده + فشار خاک = q	
	$V_u = 208\times2.2 - \frac{163+24}{2}\times2.2 = 251.9KN$		
	$V_c = 0.2\times0.6\times\sqrt{20}\times1\times0.5\times10^3$ $= 268.3 > V_u$ O.K.	$V_c = 0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,bd$	۶-۳-۵-۱۰
	البته می‌توان برش را در فاصله d از مقطع فوق نیز کنترل نمود.		۱-۲-۱۷-۱۲
	$M_u = 208\times\frac{2.2^2}{2} - 24\times\frac{2.2^2}{2}$ $-(163-24)\times\frac{2.2^2}{6} = 333\ KN.m$		
	$R = \frac{333\times10^{-3}}{1\times0.5^2} = 1.332\ MPa$	$R = \frac{M_u}{bd^2}$	

بند آیین‌نامه	روش	محاسبات	جداول کمکی
	$\rho=\frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2R}{0.85\phi_c f_c}}\right]$	$\rho=\frac{0.85\times0.6\times20}{0.85\times300}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times1.332}{0.85\times0.6\times20}}\right]$	
۲-۱-۱۶ ۳-۲-۵-۱۱		$\rho=0.0056 > 0.002$ O.K.	
	$A_s=\rho\,.\,b\,.\,d$	$A_s=0.0056\times100\times50=28\ cm^2/m$	
		Use Φ 28/20 , $A_s=30.79\ cm^2/m$	
		برای مقطع B-B داریم:	
			
		از فشارهای خاک روی آن و وزن پی در جهت ضریب اطمینان صرف‌نظر شده است.	
		تنش زیر پی در فاصله d از بر دیوار برابر است با:	
		$q=194+(276-194)\times\frac{0.5}{1.3}=225.5\ KN/m^2$	
۱-۲-۱۷-۱۲		$V_u=\frac{276+225.5}{2}\times(1.3-0.5)$ $=200.6KN < V_c$ O.K.	
		$M_u=194\times\frac{1.3^2}{2}+(276-194)\times\frac{1.3^2}{3}=210\ KN.m$	
۱-۳-۷-۸		$A_s=\frac{28}{333}\times210=17.66\ cm^2$	
		$A_{s,min}=0.002\times100\times60=12\ cm^2 < A_s$ O.K.	
		Use Φ 22/20 , $A_s=19.01\ cm^2/m$	

شالوده‌ها

مثال ۱ **ضخامت شالوده منفرد و مربع شکل که دارای ستون با مقطع مربع می‌باشد.**

ضخامت لازم را برای شالوده شکل زیر تعیین کنید :

: مشخصات

$f_c = 20$ Mpa

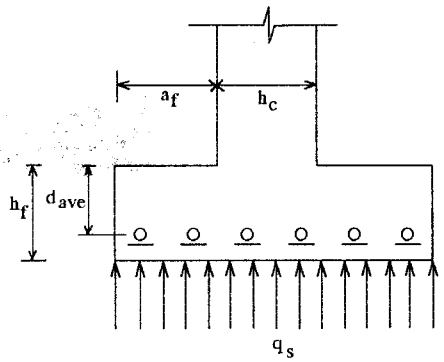
$h_c = 50$ cm

$p_d = 810$ KN

$p_l = 515$ KN

ابعاد پی $= 2.4 \times 2.4 m^2$

$\alpha_s = 10$ (ستون گوشه)



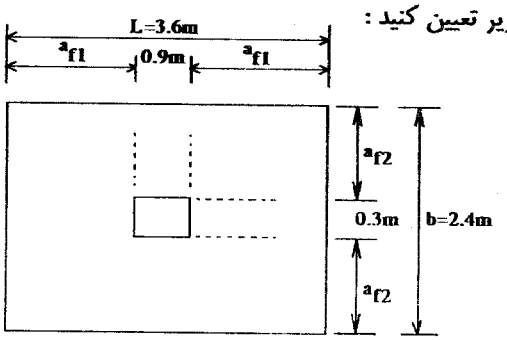
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف: با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول)	
		محاسبه بارهای نهایی	
	$P_u = 1.25 \times 810 + 1.5 \times 515$	$P_u = 1.25\ P_d + 1.5\ P_L$	۳-۳-۵-۱۰
	$P_u = 1785$ KN		
		گام دوم)	
		محاسبه فشار تکیه‌گاهی خالص q'_s	
	$q'_s = \frac{1785}{2.4 \times 2.4} = 309.9 \quad KN/m^2$	$q'_s = \frac{P_u}{A_f}$	
		گام سوم)	۱-۲-۱۷-۱۲
	اگر d_{ave} را برابر 40cm فرض کنیم. طول ضلع مقطع بحرانی برابر خواهد شد با:	محاسبه برش سوراخ‌کننده :	
	$h_c = d = 50 + 40 = 90$ cm	اضلاع مقطع بحرانی در فاصله $\frac{d}{2}$ از بر ستون می‌باشند.	
	$A_f = 2.4 \times 2.4 = 5.76 \ m^2$	$V_p = [A_f - (h_c+d)^2].q_s$	
	$V_p = (5.76 - 0.9^2) \times 309.9 = 1534$ KN	که در آن Af مساحت شالوده است.	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام چهارم)	
		محاسبه نیروی برشی مقاوم نهایی بتن	۱۲-۱۷-۲-۴
	$\beta_c = \frac{50}{50} = 1$	$\beta_c =$ طول ضلع بزرگ مقطع ستون / طول ضلع کوچک مقطع ستون	
	$b_o = 4 \times 90 = 360$ cm	$b_o = 4\,(h_c + d)$	
	$V_{c1} = 3 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o.d$	$V_{c1} = (1 + \frac{2}{\beta_c})0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o.d$	معادله ۱۲-۳۵
	$V_{c2} = (\frac{10 \times 40}{360} + 1)0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o.d$ $V_{c2} = 2.11 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o.d$	$V_{c2} = (\frac{\alpha_s d}{b_o} + 1)0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o.d$	معادله ۱۲-۳۵
	$V_{c3} = 2 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o.d$	$V_{c3} = 2 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o.d$	معادله ۱۲-۳۶
	$V_c = V_{c3}$	$V_c = \min(V_{c1}, V_{c2}, V_{c3})$	
	و یا :		
	$V_c = 2 \times 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} \times 3.6 \times 0.4 \times 10^3$		
	$V_c = 1545.57$ KN > V_p O.K.		
	فرض می‌کنید میلگردهای مصرفی از نوع Φ 20 باشند.	**گام پنجم)** محاسبه h_f	
	$h_f = 40 + 2 + 7.5 = 49.5$ cm	برای محاسبه h_f باید اندازه قطر میلگرد و ضخامت پوشش بتن را به d_{ave} افزود.	
	و یا:	$h_f = d_{ave} + d_b + 7.5$ cm	۸-۲-۹-۴
	$h_f = 50$ cm		
		تذکر: برای پی منفرد و تحت اثر بار محوری، در حالتی که پی و ستون روی آن مربع شکل باشند. غالباً نیازی به کنترل برش عادی نیست.	
		ب : با استفاده از جداول	
	با توجه به قسمت الف داریم:	**گام اول)** محاسبه بارهای نهایی	
	Pu = 1785 KN		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	با توجه به قسمت الف داریم: $q_s = 309.9\ KN.m^2$ $\beta_c = 1$ $k_{v4} = \frac{4}{2+4} = 0.67 < 1 \rightarrow k_{v4} = 1$ $k_{v6} = 1$ $k_{v6} \times qs = 1 \times 309.9 = 309.9\ KN$	**گام دوم)** محاسبه k_{v6} , q_s $k_{v4} = \frac{4}{2+(4/\beta_c)} \geq 1$ چون در این مرحله b_o مشخص نیست و نمی‌توان k_{v5} را محاسبه کرد فرض می‌کنیم: $k_{v6} = k_{v4}$	۴-۲-۱۷-۱۲
	$\frac{A_f}{A_c} = \frac{2.4 \times 2.4}{0.5 \times 0.5} = 23.04$	**گام سوم)** محاسبه نسبت سطح مقطع پی به سطح مقطع ستون	
	برای $q_s = 309.9$ و k_{v6} و $\frac{A_f}{A_c} = 23.04$ داریم: $\frac{d}{h_c} = 0.8$	**گام چهارم)** تعیین نسبت $\frac{d}{h_c}$	۱-۲-۱۷-۱۲
	$d_{ave} = 0.8 \times 50 = 40cm$	**گام پنجم)** محاسبه d $d = (\frac{d}{h_c}).h_c$	
	$b_o = 4 \times 90 = 360\ cm$ $k_{v5} = \frac{2}{1+10 \times \frac{40}{360}} = 0.947 < K_{v6}$ O.K.	**گام ششم)** محاسبه k_{v5} $b_o = 4\ (h_c + d)$ $k_{v5} = \frac{2}{1+\alpha_s \cdot \frac{d}{b_o}}$	۴-۲-۱۷-۱۲
	$h_f = 40 + 2 + 7.5 = 49.5\ cm$ و یا: $h_f = 50\ cm$	**گام هفتم)** محاسبه h_f $h_f = d_{ave} + d_b + 7.5\ cm$	۴-۹-۲-۸

مثال ۲ **ضخامت شالوده منفرد و مستطیل شکل که دارای ستون با مقطع مستطیل می‌باشد.**

ضخامت لازم را برای شالوده شکل زیر تعیین کنید :

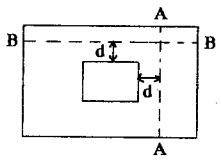


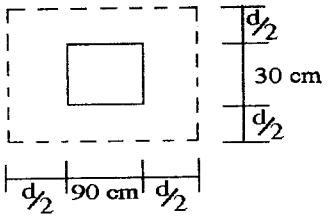
مشخصات :

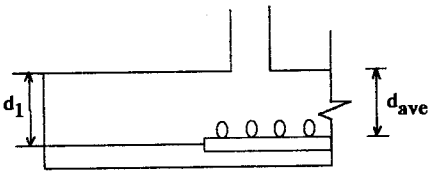
$f_c = 20$ Mpa

$P_u = 2800$ KN

$\alpha_s = 15$ (ستون گوشه)

جدول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف: با استفاده از روش تحلیلی	
	$q'_s = \frac{2800}{3.6 \times 2.4} = 324.1 \quad KN/m^2$	**گام اول)** محاسبه فشار تکیه‌گاهی خالص q_s $q_s = \frac{P_u}{A_f}$	
		گام دوم) محاسبه حداقل ضخامت لازم برای برش عـادی یا یک طرفه شالوده را در هر دو جهت در فاصـله d از بر ستون کنترل می‌نمائیم. به عنوان فرض اولیه d را برابـر ۵۵ سـانتیمتر در نظر می‌گیریم.	۱۲-۳-۱-۱ ۱۲-۵-۴
	$V_{uA-A} = 324.1 \times 2.4 \times (1.35-0.55) = 622.3$ KN	 $V_{uA-A} = q_s .b. (a_{f1} - d)$ $V_{cA-A} = 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o .d$	
	$V_{cA-A} = 0.12\sqrt{20} \times 2.4 \times 0.55 \times 10^3$ $V_{cA-A} = 708.4 \quad KN > V_{uA-A}$ O.K.		
	$V_{uB-B} = 324.1 \times 3.6 \times (1.05-0.55) = 583.4$ KN	$V_{uB-B} = q_s .L. (a_{f2} - d)$ $V_{cB-B} = 0.2\phi_c \sqrt{f_c} L.d$	
	$V_{cB-B} = 0.12\sqrt{20} \times 3.6 \times 0.55 \times 10^3$ $V_{cB-B} = 1063$ KN $> V_{uB-B}$ O.K.		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام سوم)	
		کنترل ضخامت شالوده برای برش سوراخ‌کننده	۱۲-۱۷-۲-۴
			۱۲-۱۷-۲-۱
	$b_o = 2(1.2+2\times0.55)= 4.6$ m	$b_o = 2(0.90+0.30+2d)$	
	$A_o = 1.45 \times 0.85 = 1.2325$ m^2	$A_o = (0.90+d)\,.\,(0.30+d)$	
	$A_f = 2.4 \times 3.6 = 8.64$ m^2	$A_f = b.L$	
	$V_p := (8.64-1.2325)\times 324.1 = 2400.5$ KN	$V_p = (A_f - A_o).q_s$	
	$\beta_c = \frac{90}{30} = 3$	$\beta_c = \frac{\text{طول ضلع بزرگ مقطع ستون}}{\text{طول ضلع کوچک مقطع ستون}}$	
	$V_{c1} = 1.67 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o.d$	$V_{c1} = (1+\frac{2}{\beta_c})0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o.d$	معادله ۱۲-۳۴
	$V_{c2} = (\frac{15\times 55}{460}+1)0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o.d$ $V_{c2} = 2.79 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o.d$	$V_{c2} = (\frac{\alpha_s d}{b_o}+1)0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o.d$	معادله ۱۲-۳۵
	$V_{c3} = 2 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o.d$	$V_{c3} = 2 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o.d$	معادله ۱۲-۳۶
	$V_c = V_{c1}$ و یا : $V_c = 1.67\times0.2\times0.6\times\sqrt{20}\times4.6\times0.55\times10^3$ $V_c = 2267.4$ KN $< V_p$ بنابراین ضخامت پی را باید افزایش داد.	$V_c = \min(V_{c1}, V_{c2}, V_{c3})$	
		گام چهارم)	
		افزایش ضخامت شالوده d را برابر ۶۰cm فرض می‌کنیم.	
	$b_o = 2(0.9+0.3+2\times0.6)= 4.8$ m	$b_o = 2(0.9+0.3+2d)$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$A_o = (0.9+0.6).(0.3+0.6)=1.35 \quad m^2$ $V_p = (8.64-1.35)\times 324.1 = 2362.7 \ KN$ $V_{cl} = 1.67 \times 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} \times 4.8 \times 0.6 \times 10^3$ $V_c = 2581.1 \ KN > V_p$ O.K.	$A_o = (0.9+d) \ . \ (0.3+d)$ $V_p = (A_f - A_o).q_s$ $V_c = V_{cl} = 1.67 \times 0.2 \phi_c \sqrt{f_c} b_o.d$	
	میلگردهای مصرفی Φ 20 می‌باشند. $h_f = 60 + 2 + 7.5 = 69.5 \ cm$ و یا: $h_f = 70 \ cm$	**گام پنجم)** محاسبه h_f $h_f = d_{ave} + d_b + 7.5 \ cm$ تذکر: با توجه به شکل زیر، اگر در محاسبه ضخامت شالوده برش عادی حاکم باشد،در فرمول فوق برای محاسبه h_f مقدار d_p در $\frac{1}{2}$ ضرب می‌شود.  	۴-۹-۲-۸
	با توجه به قسمت الف داریم: $q_s^{\bullet} = 324.1 \ KN/m^2$	**ب : با استفاده از جداول** **گام اول)** محاسبه q_s	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام دوم)	
		محاسبه حداقل ضخامت لازم برای برش عادی یا یک طرفه	۱۲-۳-۱-۱ ۱۲-۵-۲
	$a_{f1} = \frac{1}{2}(3.6 - 0.9) = 1.35 \quad m$ $a_{f2} = \frac{1}{2}(2.4 - 0.3) = 1.05 \quad m$ $a_f = Max\,(a_{f1}, a_{f2}) = 1.35\ m$ برای f_c=20MPa و q_s=324.1 KN/m² داریم: $k_{v1} = 0.38$ $d = 0.38 \times 1.35 = 0.513\ m$ و یا : $d = 52\ m$	$d = K_{v1} \cdot a_f$	
	با توجه به قسمت الف داریم: $\beta_c = 1$ $k_{v4} = \frac{4}{2 + 4/3} = 1.2$ $k_{v6} = 1.2$ $k_{v6} \times qs = 1.2 \times 324.1 = 388.92\ KN$ $\frac{A_f}{A_c} = \frac{2.4 \times 3.6}{0.3 \times 0.9} = 32$ برای q_s=388.92 و K_{v6} و $\frac{A_f}{A_c} = 32$ داریم: $d/h_c = 1.16$ $h_c = \sqrt{0.3 \times 0.9} = 0.52\ m$ $d = 1.16 \times 0.52 = 0.6\ m$	**گام سوم)** محاسبه حداقل ضخامت شالوده برای برش سوراخ‌کننده $k_{v4} = \frac{4}{2 + (4/\beta_c)} \geq 1$ چون در این مرحله b_o مشخص نیست و نمی‌توان k_{v5} را محاسبه کرد فرض می‌کنیم: $k_{v6} = k_{v4}$ مقدار h_c را برابر ضلع مربع معادل با مقطع مستطیل شکل ستون در نظر می‌گیریم. این فرض در جهت ضریب اطمینان است. $h_c = \sqrt{A_c}$ $d = (d/h_c) \cdot h_c$	۱۲-۱۷-۲-۱ ۱۲-۱۷-۲-۴

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	بنابراین برش سوراخ‌کننده حاکم می‌باشد. و یا : $d_{ave} = 60$ m		
	$b_o = 2(0.9 + 0.3 + 2\times 0.6) = 4.8$ m $k_{v5} = \frac{2}{1 + 15 \times \frac{0.6}{4.8}} = 0.696 < K_{v5}$ O.k.	**گام چهارم)** محاسبه K_{vs} $b_o = 2(0.9 + 0.3 + 2d)$ $k_{vs} = \frac{2}{1 + \alpha_s d / b_o} \geq 1$	۴-۲-۱۷-۱۲
	$h_f = 60 + 2 + 7.5 = 69.5$ cm $h_f = 70$ cm و یا:	**گام پنجم)** محاسبه h_f $h_f = d_{ave} + d_b + 7.5$ cm	۴-۹-۲-۸

مثال ۳ ضخامت و آرماتورگذاری شالوده یک طرفه

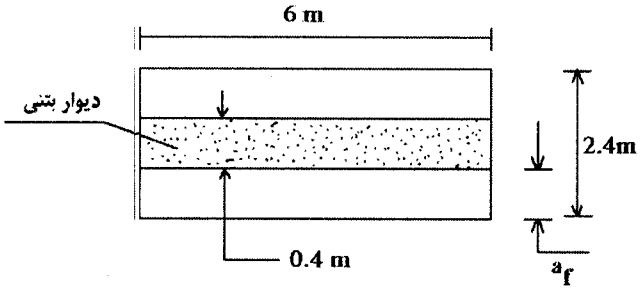
ضخامت پی و میلگردهای لازم را برای شالوده شکل زیر محاسبه کنید.

مشخصات :

$q_s = 390\ KN/m^2$

$f_c = 20\ Mpa$

$f_y = 300\ Mpa$



پلان شالوده

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف: با استفاده از روش تحلیلی **گام اول)** تعیین ضخامت تیر برای برش عادی به عنوان فرض اولیه d را برابر ۴۵ سانتیمتر در نظر می‌گیریم. Vu برای عرض واحد پی و در فاصله d از بر ستون، با استفاده از فرمول زیر بدست می‌آید:	
	$V_{ud} = 390\ (1-0.45)$ $V_{ud} = 214.5\ KN$	$V_{ud} = q_s\ (a_f - d)$	۴-۵-۱۲
	$V_c = 0.2\times 0.6\times\sqrt{20}\times 1\times 0.45\times 10^3$ $V_c = 241.5\ KN\ >\ V_{ud}$ O.K.	$V_c = 0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o.d$	۱-۱-۳-۱۲
		گام دوم) محاسبه فولاد مورد نیاز ابتدا As برای عرض واحد پی محاسبه می‌شود.	۱-۳-۴-۱۲
	$M_{u1} = 390\times\frac{(1)^2}{2} = 195 KN.m$	$M_u = q_s\frac{a_f^{\,2}}{2}$	
	$R = \frac{195\times 10^{-3}}{1\times 0.45^2} = 0.963$	$R = \frac{M_u}{bd^2}$	فصل ۱۱

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$\rho = \frac{0.85 \times 0.6 \times 20}{0.85 \times 300}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0.963}{0.85 \times 0.6 \times 20}}\right]$ $\rho = 0.004$	$\rho = \frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R}{0.85\phi_c f_c}}\right]$	
	$A_s = 0.004 \times 100 \times 45 = 18\ cm^2/m$	$A_s = \rho \,.\, b.\, d$ حال کل میلگرد لازم محاسبه می‌گردد.	۴-۵-۱۷
	$A_{st} = 18 \times 6 = 108\ cm^2$	$Ast = A_s.b$	
		گام دوم) انتخاب میلگردها میلگرد مصرفی را $\Phi 24$ فرض می‌کنیم. $A_{sl} = 4.52\ cm^2$ تعداد مورد نیاز آرماتورها برابر است با :	
	$N = \frac{108}{4.52} = 23.9$ و یا : $N = 24$	$N = \frac{A_{st}}{A_{sl}}$ فاصله بین آرماتورها برابر است با :	
	$S = \frac{600 - 2 \times 7.5 - 2.4}{24.1} = 25.3\ cm$ و یا : $S = 25\ cm < 35$ O.K.	$S = \frac{b - 2 \times (\text{پوشش ضخامت}) - d_b}{N - 1}$	۶-۶-۲-۸
		حال طول گیرایی آرماتور $\Phi 24$ در کشش را بـه دست می‌آوریم.	
	$f_{bd} = 0.65\sqrt{20} = 2.91\ MPa$	$f_{bd} = 0.65\sqrt{f_c}$	۳-۲-۲-۱۸
	$\lambda_1 = 0.8$	ضریب λ_1 بـرای میلگردهـای بـا قطـر بیشـتر از ۲۰ میلیمتر برابر با ۰/۸ است.	
	$\lambda_2 = 0.85$	ضریب λ_2 در مواردی که پوشش بتن روی میلگردهـا بیشتر از d_b و فاصله آزاد میلگردها که در یـک محـل مهار یا وصله می‌شوند از یکدیگر مساوی یا بیشـتر از $2d_b$ باشد برابر با ۰/۸۵ است.	
	$f_b = 0.8 \times 0.85 \times 2.91 = 1.98\ MPa$	$f_b = \lambda_1 . \lambda_2 . f_{bd}$	۵-۲-۲-۱۸
	$\ell_{db} = \frac{2.4 \times 300}{4 \times 1.98} = 90\ cm$	$\ell_{db} = \frac{d_b . f_y}{4 f_b}$	۲-۲-۲-۱۸

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$K_1 = 1$		۱۸-۲-۲-۱ الف
	$K_2 = 1$		۱۸-۲-۲-۱ ب
	$K_3 = 1$		۱۸-۲-۲-۱ پ
	$\ell_d = 1 \times 1 \times 1 \times 90 = 90 \quad cm$	$\ell_d = K_1 . K_2 . K_3 . l_{db}$	معادله ۱۸-۱
		طول آرماتور از مقطع بحرانی شالوده به بعد، برابر است با:	
	$\ell = 100 - 75 = 92.5 \ cm > l_d$ O.K.	$\ell = a_f$ – پوشش بتن	۸-۲-۹-۴
		گام چهارم) محاسبه h_f	
	$h_f = 45 + 1/2 + 2.4 + 7.5 = 53.7 \ cm$ $h_f = 55 \ cm$ و یا:	$h_f = d + 1/2 \ d_b + 7.5 \ cm$	۸-۲-۹-۴
		گام پنجم) کنترل آرماتور حداقل	
	$\rho = \frac{24 \times 4.52}{600 \times 55}$ $\rho = 0.0033 > 0.002$ O.K.	$\rho = \frac{A_s}{b.h_f}$	۱۱-۵-۲-۳ ۸-۷-۳-۱
		ب: با استفاده از جداول	
	برای f_c =20 MPa و $q_s = 390 \ KN/m^2$ داریم:	**گام اول)** تعیین ضخامت تیر برای برش عادی	
	$Kv1 = 0.42$ $d = 0.42 \times 1 = 0.42 \ m$ و یا : $d = 45 \ cm$	$d = K_{v1} . a_f$	
		گام دوم) محاسبه فولاد مورد نیاز	
	$F = \frac{100 \times 45^2}{1000} = 202.5$ $K = \frac{195}{202.5} = 0.96$ M_u در قسمت‌الف محاسبه شده است. برای f_c =20 MPa و f_y = 300 MPa و K=0.96 داریم:	$F = \frac{b.d^2}{1000}$ (عرض واحد پی) $K = \frac{M_u}{F}$	۱۷-۴-۳
	$\rho = 0.004$ $A_s = 0.004 \times 100 \times 45 = 18 cm2/m$	$A_s = \rho.b.d$ بقیه گام‌ها شبیه قسمت الف می‌باشند.	۱۷-۵-۴

مثال ۴ ضخامت و آرماتورگذاری شالوده مربع شکل و دو طرفه

ضخامت و مقدار آرماتورهای لازم را برای شالوده شکل زیر تعیین کنید.

مشخصات :

$q_s = 390\ KN/m^2$

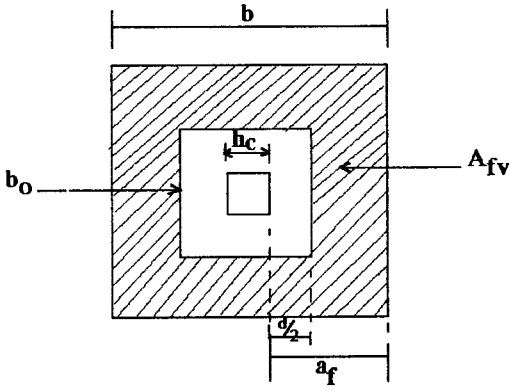
$f_c = 20\ Mpa$

$f_y = 400\ Mpa$

ابعاد شالوده $= 3.5 \times 3.5\ m^2$

ابعاد ستون $= 65 \times 65\ cm^2$

$\alpha_s = 20$ (ستون میانی)



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف: با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول)	
		محاسبه a_f	
	$a_f = \frac{1}{2}(350 - 65) = 142.5\ cm$	$a_f = \frac{1}{2}$ (طول ضلع ستون- طول ضلع پی)	
		گام دوم)	
		محاسبه ضخامت لازم برای برش عادی به عنوان فرض اولیه d را برابر ۶۰ سانتیمتر در نظر می‌گیریم.	۴-۵-۱۲
	$V_{ud} = 390 \times 3.5 \times (1.425 - 0.6)$	$V_{ud} = q_s b(a_f - d)$	
	$V_{ud} = 1126.1\ KN$		
	$V_c = 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} \times 3.5 \times 0.6 \times 10^3$	$V_c = 0.2\phi_c \sqrt{f_c}\, b.d$	۱-۱-۳-۱۲
	$V_c = 1127\ KN > V_{ud}$ O.K.	از آنجا که برای شالوده منفرد و تحت اثر بار محوری، در حالتیکه شالوده و ستون روی آن مربع شکل باشند، برش سوراخ‌کننده غالباً بحرانی‌تر است، ضخامت محاسبه شده در این مرحله را قدری افزایش می‌دهیم.	
	با توجه به برش سوراخ‌کننده d را برابر ۷۰ سانتیمتر در نظر می‌گیریم.		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام سوم)	
		کنترل ضخامت شالوده برای برش سوراخ‌کننده	۱۲-۱۷-۲-۴
	$A_{fu} = 3.5^2 - (0.65+0.7)^2 = 10.4275 m^2$	$A_{fu} = A_f - (h_c + d)2$	
	$V_p = 10.4275 \times 390 = 4066.7 \quad KN$	$V_p = A_{fu} \cdot q_s$	
	$b_o = 4\,(0.65 + 0.7) = 5.4 \quad m$	$b_o = 4\,(h_c + d)$	
	$\beta_c = 1$	در ستون مربع شکل β_c برابر یک است.	
	$V_{c1} = 3 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	$V_{c1} = (1 + \frac{2}{\beta_c})0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	معادله ۱۲-۳۴
	$V_{c2} = (\frac{20 \times 70}{540} + 1)0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	$V_{c2} = (\frac{\alpha_s d}{b_o} + 1)0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	معادله ۱۲-۳۵
	$V_{c2} = 3.59 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$		
	$V_{c3} = 2 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	$V_{c3} = 2 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b_o d$	معادله ۱۲-۳۶
	$V_c = V_{c3}$	$V_c = Min(V_{c1}, V_{c2}, V_{c3})$	
	و یا :		
	$V_c = 2 \times 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} \times 5.4 \times 0.7 \times 10^3$		
	$V_c = 4057.1 \ KN \approx V_p$ O.K.		
		گام چهارم)	
		محاسبه فولاد مورد نیاز	۱۷-۴-۳-۱
	$M_u = 390 \times \frac{1.425^2}{2} = 396 \quad KN.m$	$M_u = q_s \cdot \frac{a_f^2}{2}$ (برای عرض واحد پی)	۱۷-۴-۳-۲الف
	$R = \frac{396 \times 10^{-3}}{1 \times 0.7^2} = 0.808 \quad MPa$	$R = \frac{M_u}{bd^2}$	
	$\rho = \frac{0.85 \times 0.6 \times 20}{0.85 \times 400}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0.808}{0.85 \times 0.6 \times 20}}\right]$ $\rho = 0.0025$	$\rho = \frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R}{0.85\phi_c f_c}}\right]$	فصل ۱۱
	$A_s = 0.0025 \times 100 \times 70 = 17.5 \ cm^2/m$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$	۱۷-۵-۴
		حال کل میلگرد لازم محاسبه می‌گردد.	
	$A_{st} = 17.5 \times 3.5 = 61.25 \ cm^2$	$Ast = A_s.b$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام پنجم)	
		انتخاب میلگردها	
		میلگرد مصرفی را $\Phi 24$ فرض می‌کنیم.	
		$A_{sl} = 4.52 \ cm^2$	
		تعداد مورد نیاز آرماتورها برابر است با :	
	$N = \frac{61.25}{4.52} = 13.55$	$N = \frac{A_{st}}{A_{sl}}$	
	و یا : $N = 14$		
		فاصله بین آرماتورها برابر است با :	
	$S = \frac{350 - 2 \times 7.5 - 2.4}{14 - 1} = 25.6 \ cm$	$S = \frac{b - 2 \times (\text{پوشش ضخامت}) - d_b}{N - 1}$	۶-۶-۲-۸
	و یا :		
	$S = 25 \ cm < 35$ O.K.		
		حال طول گیرایی آرماتور $\Phi 24$ با توجه مثال ۳	
		برابر است با :	
		$\ell_d = 90 \ cm$	۴-۹-۲-۸
		طول آرماتور از مقطع بحرانی شالوده به بعد، برابر	
		است با :	
	$\ell = 142.5 - 7.5 = 135 \ cm > l_d$ O.K.	$\ell_d = 90 \ cm$	
		گام ششم)	
		محاسبه ضخامت شالوده	۳-۲-۵-۱۱
	$h_f = 70 + 2.4 + 7.5 = 79.9 \ cm$	$h_f = d_{ave} + d_b + 7.5 \ cm$	۱-۳-۷-۸
	و یا : $h_f = 80 \ cm$		
		ب : با استفاده از جداول	
	با توجه به قسمت الف داریم:	**گام اول)**	۱-۱-۳-۱۲
	$a_f = 142.5 \ cm$	محاسبه حداقل ضخامت لازم برای برش عادی	۲-۵-۱۲
	برای $f_c = 20 \ MPa$ و $q_s = 390 \ KN/m^2$ داریم:	یا یکطرفه	
	$K_{v1} = 0.42$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$d = 0.42 \times 142.5 = 59.85$ cm با توجه به برش سوراخ‌کننده d را برابر ۷۰cm در نظر می‌گیریم.	$d = K_{v1} \cdot a_f$	
	با توجه به قسمت الف داریم: $\beta_c = 1$ $k_{v4} = \frac{4}{2+4/1} = 0.67 < 1$ $K_{v4} = 1$ $b_o = 4\ (0.65 + 0.7\ ) = 5.4$ m $k_{v5} = \frac{2}{1+20\times\frac{0.7}{5.4}} = 0.56 < 1$ بنابراین : $K_{v5} = 1$ $K_{v5} = 1$ $K_{v6} \cdot q_s = 390 \times 1 = 390$ KN/m^2 $\frac{A_f}{A_c} = \frac{2.4\times3.5}{0.65\times0.65} = 29$ برای $K_{v6} \times q_s$=388.92 و $\frac{A_f}{A_c} = 29$ داریم: $d/h_c = 1.088$ $d = 1.088 \times 65 = 70.7 \approx 70$ cm O.K. بنابراین: $d = 70$ cm	**گام دوم)** کنترل‌حداقل ضخامت شالوده برای برش سوراخ‌کننده $k_{v4} = \frac{4}{2+(4/\beta_c)} \geq 1$ $b_o = 4\ ((h_c + d)$ $k_{v5} = \frac{2}{1+\alpha_s \frac{d}{b_o}} \geq 1$ $K_{v6} = MAX\ (K_{v4}, K_{v5})$ $d = (d/h_c) \cdot h_c$	
	$F = \frac{100\times70^2}{1000} = 490$ $K = \frac{396}{490} = 0.81$ M_u در قسمت‌الف محاسبه شده است. برای f_c=20 MPa و f_y = 400 MPa و K=0.81 داریم: $\rho = 0.0025$ $A_s = 0.0025 \times 100 \times 70 = 17.5$ cm^2/m	**گام سوم)** محاسبه فولاد مورد نیاز (عرض واحد شالوده) $F = \frac{b.d^2}{1000}$ $K = \frac{M_u}{F}$ $A_s = \rho.b.d$ بقیه گام‌ها شبیه قسمت الف می‌باشند.	۳-۴-۱۷ ۴-۵-۱۷

مثال ۵ ضخامت و آرماتورگذاری شالوده مستطیل شکل و دو طرفه

ضخامت و مقدار آرماتورهای لازم را برای شالوده شکل زیر تعیین کنید.

مشخصات :

$q_s = 260\ KN/m^2$

$f_c = 20\ Mpa$

$f_y = 300\ Mpa$

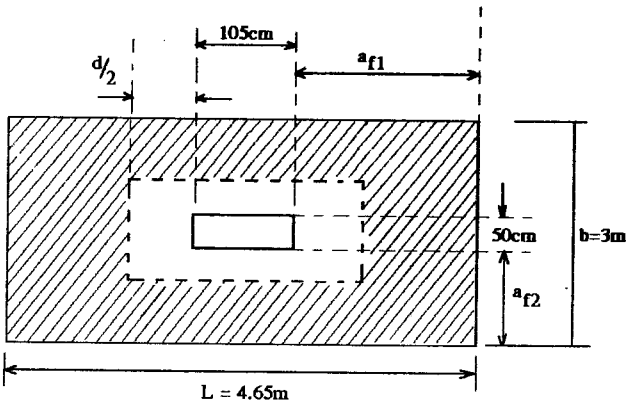
$a_{f1} = 180\ cm$

$a_{f2} = 125\ cm$

ابعاد پی $= 4.65 \times 3\ m^2$

ابعاد ستون $= 105 \times 50\ cm^2$

$\alpha_s = 20$ (ستون میانی)



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف : با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول)	
		محاسبه ضخامت لازم برای برش عادی به عنوان فرض اولیه d را برابر ۶۰ سانتیمتر در نظر می‌گیریم.	۴-۵-۱۲
	$V_{ud} = 260 \times 3 \times (1.8 - 0.6) = 936KN$	$V_{ud1} = q_s b(a_n - d)$	
	$V_{c1} = 0.12 \times \sqrt{20} \times 3 \times 0.6 \times 10^3$	$V_{c1} = 0.2\phi_c \sqrt{f_c} b.d$	۱-۱-۳-۱۲
	$V_{c1} = 966\ KN > V_{ud1}$ OK.	$V_{ud2} = q_s.L(a_{f2} - d)$	
	$V_{ud2} = 260 \times 4.65 \times (1.25 - 0.6) = 785.85KN$	$V_{c2} = 0.2\phi_c \sqrt{f_c} L.d$	۱-۱-۳-۱۲
	$V_{c2} = 0.12 \times \sqrt{20} \times 4.65 \times 0.6 \times 10^3$		
	$V_{c2} = 1497.3\ KN > V_{ud2}$ OK.	تذکر: در شالوده‌های مستطیل شکل غالباً V_{ud1} بحرانی‌تر است.	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام دوم)	
		کنترل ضخامت شالوده برای برش سوراخ‌کننده	۱۲-۱۷-۲-۴
	$b_o = 2\times2 (1.05+0.5+2\times0.6) = 5.5 \quad m$	$b_o = 2 (1.05 + 0.5 + 2d)$	
	$A_o = (1.05 + 0.6)(0.5+0.6) = 1.815 \quad m^2$	$A_o = (1.05 + d) (0.5 + d)$	
	$A_f = 3 \times 4.65 = 13.95 \quad m^2$	$A_f = b.L$	
	$V_p = (13.95 - 1.815) \times 260 = 3155.1 \quad KN$	$V_p = (A_f - A_o) . q_s$	
	$\beta_c = \frac{105}{50} = 2.1$	$\beta_c = \frac{\text{طول ضلع بزرگ مقطع ستون}}{\text{طول ضلع کوچک مقطع ستون}}$	
	$V_{c1} = (1+\frac{2}{2.1})0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o.d$	$V_{c1} = (1+\frac{2}{\beta_c})0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o.d$	معادله ۱۲-۳۴
	$V_{c1} = 1.95\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o.d$		
	$V_{c2} = (\frac{20\times60}{550}+1)0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o.d$	$V_{c2} = (\frac{\alpha_s d}{b_o}+1)0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o.d$	معادله ۱۲-۳۵
	$V_{c2} = 3.18\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o.d$		
	$V_{c3} = 2\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o.d$	$V_{c3} = 2\times0.2\phi_c\sqrt{f_c}\,b_o.d$	معادله ۱۲-۳۶
	$V_c = V_{c1}$	$V_c = \min(V_{c1}, V_{c2}, V_{c3})$	
	و یا :		
	$V_c = 1.95\times0.2\times0.6\times\sqrt{20}\times5.5\times0.6\times10^3$		
	$V_c = 3453.4 \quad KN > V_p$ O.K.		
		گام سوم)	
		محاسبه فولاد مورد نیاز در جهت طولی	۱۷-۴-۳-۱
	$M_u = 260\times\frac{1.8^2}{2} = 421.2 \quad KN.m$	$M_u = q_s.\frac{a_n^2}{2}$ (برای عرض واحد شالوده)	۱۷-۴-۳-۲الف
	$R = \frac{421.2\times10^{-3}}{1\times0.6^2} = 1.17 \quad MPa$	$R = \frac{M_u}{bd^2}$	فصل ۱۱
	$\rho = \frac{0.85\times0.6\times20}{0.85\times300}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times1.17}{0.85\times0.6\times20}}\right]$	$\rho = \frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\left[1-\sqrt{1-\frac{2R}{0.85\phi_c f_c}}\right]$	
	$\rho = 0.0049$		
	$A_{st} = 0.0049\times300\times60 = 88.2\ cm^2$	$A_{st} = \rho . b. d$	۱۷-۵-۵ الف
	از 13 Φ 30 به مساحت 91.9 سانتیمترمربع استفاده می‌کنیم.		
	آرماتورهای فوق بصورت یکنواخت توزیع می‌شوند.		

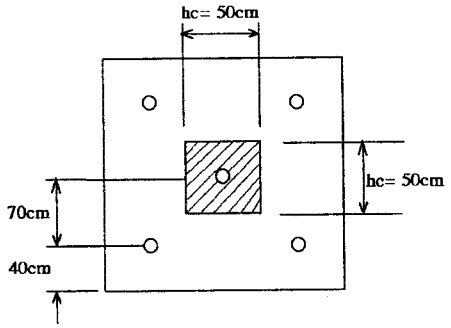
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام چهارم)	
		محاسبه فولاد مورد نیاز در جهت عرضی	۱۷-۴-۳-۱
	$M_u = 260 \times \frac{1.25^2}{2} = 203.1 \quad KN.m$	$M_u = q_s . \frac{a_{f2}^2}{2}$ (برای عرض واحد شالوده)	۱۷-۴-۳-۲الف
	$R = \frac{203.1 \times 10^{-3}}{1 \times 0.6^2} = 0.564 \quad MPa$	$R = \frac{M_u}{bd^2}$	فصل ۱۱
	$\rho = \frac{0.85 \times 0.6 \times 20}{0.85 \times 300}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0.564}{0.85 \times 0.6 \times 20}}\right]$ $\rho = 0.0023$	$\rho = \frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R}{0.85\phi_c f_c}}\right]$	
	$A_{st} = 0.0023 \times 465 \times 60 = 64.17\ cm^2$	$A_{st} = \rho . L. d$	
	از 20 Φ 21 به مساحت 65.94 سانتیمترمربع استفاده می‌کنیم.		
	میلگردهای فوق بصورت یکنواخت توزیع می‌شوند.		
		گام پنجم)	
		توزیع آرماتورها در جهت عرضی	۱۷-۵-۵- ب
	$\beta_c = \frac{4.65}{3} = 1.55$	$\beta = \frac{L}{b}$	
	$\frac{\text{میلگردهای نوار میانی}}{\text{کل میلگردها}} = \frac{2}{1+1.55} = 0.78$	$\frac{\text{میلگردهای نوار میانی}}{\text{کل میلگردها}} = \frac{2}{1+\beta}$	
	مقدار فولاد مورد نیاز در نوار میانی برابر است با :	عرض نوار میانی برابر b می‌باشد.	
	$0.78 \times 64.17 = 50\ cm^2$		
	از 16Φ20 به مساحت 50.24 سانتیمترمربع استفاده می‌کنیم.		
	آرماتورهای فوق در نوار میانی بـه عـرض b=3m پخـش می‌شوند. ۵ عدد آرماتور Φ20 باقی می‌ماند که بایـد بطـور یکنواخت در دو طرف نوار میانی پخش شود. به این منظور ۳ عدد Φ20 در هر طرف نوار فوق قرار می‌دهـیم و تعـداد کل میلگردهای مصرفی برابر ۲۲ می‌شود.	اگر بخواهیم فواصل بین میلگردها ثابت بماند به صورت زیر عمل می‌کنیم :	
	$A_{sa} = 1.55 \times 0.78 \times 64.17 = 77.58\ cm^2$ USE 25 Φ 20 , $A_s = 78.5\ cm^2$	$A_{sa} = \beta(\frac{2}{1+\beta})A_{st}$	
	میلگردهای فوق بصورت یکنواخت توزیع می‌شوند.		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$h_f = 60 + 2 + 7.5 = 69.5$ cm و یا: $h_f = 70$ cm	**گام ششم)** محاسبه h_f $h_f = d_{ave} + d_b + 7.5$ cm	۴-۹-۲-۸
	کمترین مقدار فولاد مربوط به حالتی است که در جهت عرضی، آرماتورگذاری بصورت غیریکنواخت انجام شود. $\rho = \frac{22 \times 314}{465 \times 70}$ $\rho = 0.0021 > 0.002$ O.K.	**گام هفتم)** کنترل آرماتور حداقل $\rho = \frac{A_s}{b.h_f}$	۳-۲-۵-۱۱ ۱-۳-۷-۸
شالوده ۱	$a_f = a_{f2} = 1.25$ m برای $f_c = 20$ MPa و $q_s = 260$ KN/m^2 داریم: $K_{v1} = 0.33$ $d = 0.33 \times 1.25 = 0.41$ m با توجه به برش سوراخ‌کننده مقدار d را برابر ۶۰ سانتیمتر در نظر می‌گیریم: یعنی : $d = 60$ cm	**ب: با استفاده از جداول** **گام اول)** محاسبه ضخامت لازم برای برش عادی $a_f = MAX(a_{f1}, a_{f2})$ $d = K_{v1} . a_f$	۴-۵-۱۲
	با توجه به قسمت الف داریم: $\beta_c = 2.1$ $b_o = 5.5$ m $k_{v4} = \frac{4}{2 + (4/2.1)} = 1.02$ $k_{v5} = \frac{2}{1 + 20 \times \frac{0.6}{5.5}} = 0.63 < 1$	**گام دوم)** کنترل ضخامت شالوده برای برش سوراخ‌کننده $k_{v4} = \frac{4}{2 + (4/\beta_c)} \geq 1$ $k_{v5} = \frac{2}{1 + \alpha_s \frac{d}{b_o}} \geq 1$	۴-۲-۱۷-۱۲

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
شالوده ۲-۱	پس : $K_{v5} = 1$ $K_{v6} = K_{v4} = 1.02$ $K_{v6} . q_s = 1.02 \times 260 = 265.2$ $\frac{A_f}{A_c} = \frac{4.65 \times 3}{1.05 \times 0.5} = 26.57$ برای $K_{v6} \times q_s$=265.2 و $\frac{A_f}{A_c} = 26.57$ داریم: $d/h_c = 0.8$ $h_c = \sqrt{1.05 \times 0.5} = 0.72m$ $d = 0.88 \times 0.72 = 0.58$ cm بنابراین فرض d = 60 cm قابل قبول است.	$K_{v6} = MAX\ (K_{v4} , K_{v5})$ $h_c = \sqrt{A_c}$ $d = (d/h_c) . h_c$	
خمش ۲-۱	$F = \frac{100 \times 60^2}{1000} = 360$ $K_1 = \frac{4212}{360} = 1.17$ برای f_c =20 MPa و f_y = 300 MPa و K=1.17 داریم: $\rho_1 = 0.0049$ $A_{s1} = 0.0049 \times 300 \times 60 = 88.2\ cm^2$	**گام سوم)** محاسبه فولاد مورد نیاز در جهات طولی و عرضی $F = \frac{b.d^2}{1000}$ (عرض واحد شالوده) برای جهت طولی داریم: $M_{u1} = 421.2KN.m$ $K_1 = \frac{M_{u1}}{F}$ $A_{s1} = \rho.b.d$ برای جهت عرضی داریم: $M_{u2} = 203.1KN.m$ $K_2 = \frac{M_{u2}}{F}$ $A_s2 = \rho.L.d$ بقیه گام‌ها شبیه قسمت الف می‌باشند.	
خمش ۲-۱	$K_2 = \frac{203.1}{360} = 0.56$ برای f_c =20 MPa و f_y = 300 MPa و K=0.56 داریم: $\rho = 0.0023$ $A_s2 = 0.0023 \times 46.5 \times 60 = 64.17\ cm^2$		

مثال ۶ **ضخامت و آرماتورگذاری شالوده‌ای که بصورت متقارن بر روی شمع‌ها قرار گرفته است.**

ضخامت و مقدار آرماتورهای لازم را برای شالوده شکل زیر، که به صورت متقارن بر روی تعدادی شمع قرار گرفته است، تعیین نمائید. روی شالوده ستونی مربع شکل به ابعاد $50\times50\ cm^2$ قرار گرفته است.



: مشخصات

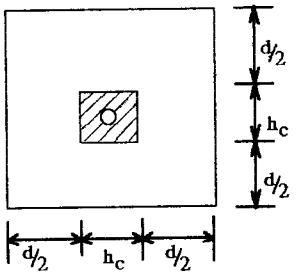
(حالت بهره‌برداری) $P_i = 600\ KN$ ظرفیت باربری هر شمع

$f_c = 20\ Mpa$

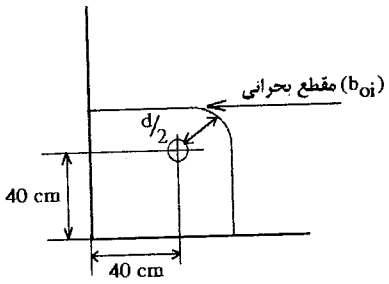
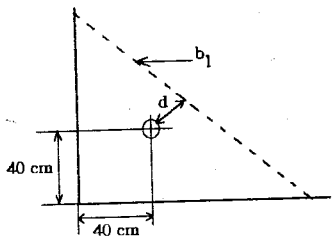
$f_y = 400\ Mpa$

تعداد شمع $N = 5$

قطر شمع $d_p = 25\ cm$

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام اول) تعیین مقدار d	
		به عنوان فرض اولیه d را برابر ۷۰ سانتیمتر در نظر می‌گیریم.	
		ضریب بار نهائی را برابر معدل ضرایب بار مرده و زنده فرض می‌کنیم.	۴-۵-۱۲
	$\gamma_f = \frac{1}{2}(1.25+1.5) = 1.375$ cm	حال می‌توان بار نهائی ستون را از فرمول زیر بدست آورد :	۴-۲-۱۷-۱۲
		$P_u = N.\ \lambda_f\ .\ P_i$	۲-۴-۴-۱۷
	$P_u = 5 \times 1.375 \times 600 = 4125$ KN		۶-۳-۱۷
	$b_o = 4\ (0.5 + 0.7) = 4.8$ m $V'_p = (412.5\text{-}1.375 \times 1 \times 600)/\ (4.8\times0.7)$ $V'_p = 982.1$ KN/m^2	$b_o = 4\ (h_c+d)$ $V_p = (P_u - \lambda_f \times 1 \times P_i)\ /\ b_o d$ در رابطه فوق ضریب یک بخاطر وجود یک شمع در ناحیه مورد نظر است. همانطور که در مثالهای قبل دیدیم در ستونهای مربع شکل V_c مربوط به فرمول زیر حاکم می‌باشد.	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$V_c = 2 \times 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} \times 10^3$ $V_c = 1073 \quad KN/m^3 > V_p \quad O.K.$	$V_c = 2 \times 0.2\phi_c \sqrt{f_c}\, b.d$ تذکر: برای کنتـرل بـرش عـادی،پـی را بایـد در فاصله d از بر سـتون کنتـرل نمـود. امـا در ایـن مسئله هیچ شمعی در فاصـله دورتـر از d ، از بـر ستون قرار ندارد و در واقع مقدار بـرش در مقطـع مورد نظر صفر است.	۴-۲-۱۷-۱۲ ۴-۵-۱۲
		گام دوم) محاسبه فولاد مورد نیاز ابتدا M_u در بر ستون محاسبه می‌شود.	۱-۳-۴-۱۷ ۱۷-۴-۳-۲الف
	$M_u = 2 \times 1.375 \times 600 \times (0.7 - \frac{0.5}{2})$ $M_u = 742.5 \quad KN.m$	$M_u = 2 \times \gamma_f \times P_i \times \frac{h_c}{2}$ ضریب دو بخاطر وجود دو شمع در مقطـع مـورد نظر می‌باشد.	فصل ۱۱
	$R = \frac{742.5 \times 10^{-3}}{2.2 \times 0.7^2} = 0.689 \quad MPa$	$R = \frac{M_u}{bd^2}$	
	$\rho = \frac{0.85 \times 0.6 \times 20}{0.85 \times 400}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0.689}{0.85 \times 0.6 \times 20}}\right]$ $\rho = 0.0021$ $A_s = 0.0021 \times 220 \times 70 = 32.34\ cm^2$ USE 12Φ20 EACH WAY , As=37.7 cm^2 تذکر: به خاطر اینکه فقط یک‌ردیف شمع در اطراف ستون وجود دارد. بهتر است برای اطمینان از مهار کافی در انتهای میلگرد از خم ۱۸۰ درجه استفاده شود.	$\rho = \frac{0.85\phi_c f_c}{\phi_s f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R}{0.85\phi_c f_c}}\right]$ $A_s = \rho \,.\, b.\, d$	۵-۵-۱۷
		گام سوم) محاسبه h_f ۷/۵ سانتیمتر برای پوشش و ۱۰ سانتیمتر برای جا دادن شمع در داخل بتن در نظر می‌گیریم.	۴-۹-۲-۸

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$h_f = 70 + \frac{2}{2} + 2 + 7.5 + 10 = 90.5$ و یا : $h_f = 90$ cm	با توجه به اینکه عمق موثر d را از مرکز آرماتورهای شبکه فوقانی در نظر گرفته‌ایم داریم: $h_f = d + \frac{d_b}{2} + d_b + 7.5cm + 10cm$	
	$\rho = \frac{37.7}{220 \times 90} = 0.0019 > 0.0018$ O.K.	**گام چهارم)** کنترل آرماتور حداقل $\rho = \frac{A_s}{b.h_f}$	۳-۲-۵-۱۱ ۱-۳-۷-۸
	$P_{ui} = 1.375 \times 600 = 825$ KN $b_{oi} = 2 \times 40 + \frac{2\pi(\frac{70}{2} + \frac{2.5}{2})}{4} = 154.6$ cm $V_{pi} = \frac{825}{1.546 \times 0.9} = 762$ KN/m^2 $V_c = 2 \times 0.2 \times 0.6\sqrt{20} \times 10^3$ $V_c = 1073 KN/m^2 > V_{pi}$	**گام پنجم)** کنترل برش سوراخ‌کننده در اطراف شمع‌ها $P_{ui} = \gamma_f \cdot P_i$  $b_{oi} = 2 \times 40 + \frac{2\pi(\frac{d}{2} + \frac{d_p}{2})}{4}$ $V_{pi} = \frac{P_{ui}}{b_{oi} d}$ $V_c = 2 \times 0.2 \phi_c \sqrt{f_c}$	۱-۲-۱۷-۱۲ ۴-۲-۱۷-۱۲
	$b_1 = 2(40 \times \sqrt{2} + \frac{25}{2} + 70) = 278.1$ cm $v_i = \frac{825}{2.871 \times 0.7} = 423.8$ KN/m^2 $V_c = 0.2 \times 0.6\sqrt{20} \times 10^3$ $v_c = 536.7 KN/m^2 > v_i$ O.K.	**گام ششم)** کنترل برش عادی برای شمعهای گوشه  $b_1 = 2(40 \times \sqrt{2} + \frac{d_p}{2} + d)$ $v_i = \frac{P_{ui}}{b_1 . d}$ $v_c = 0.2 \phi_c \sqrt{f_c}$	۱-۱-۳-۱۲ ۴-۵-۱۲ معادله ۴-۱۲

مثال ۷ ضخامت و آرماتورگذاری شالوده قرارگرفته بر روی شمع‌های متقارن

ضخامت و مقدار آرماتورهای لازم را برای شالوده شکل زیر، که به صورت متقارن بر روی تعدادی شمع قرار گرفته است، تعیین نمائید. روی شالوده ستونی مستطیل شکل به ابعاد ۵۰×۸۰ cm^2 قرار گرفته است.

مشخصات :

ظرفیت باربری هر شمع Pi = 450 KN (حالت بهره‌برداری)

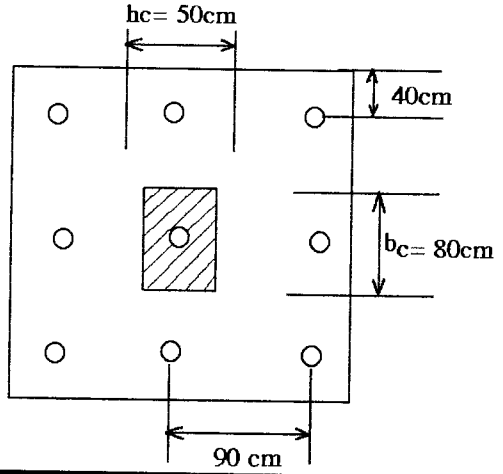
$f_c = 20$ Mpa

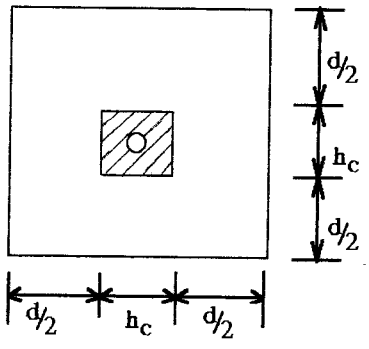
$f_y = 400$ Mpa

تعداد شمع N = 9

قطر شمع $d_p = 25$ cm

$\alpha_s = 20$ (ستون میانی)



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام اول) تعیین مقدار d	
		به عنوان فرض اولیه d را برابر ۸۵ سانتیمتر در نظر می‌گیریم.	۴-۵-۱۲
		ضریب بار نهائی را برابر معدل ضرایب بار مرده و زنده فرض می‌کنیم.	۴-۲-۱۷-۱۲
		حال می‌توان بار نهائی ستون را از فرمول زیر بدست آورد :	۲-۴-۴-۱۷
		$P_u = N.\ \gamma_f\ .\ P_i$	۶-۳-۱۷
	$\gamma_f = \frac{1}{2}(1.25+1.5) = 1.375$ cm		
	$P_u = 9 \times 1.375 \times 450 = 5568.75$ KN		
	$P_u = 5569$ KN		
	$b_o = 2\ (0.5 + 0.8+2\times0.85) = 6$ m	$b_o = 4\ (h_c+d)$	
	$V_p = (5569-1.375 \times 1 \times 450)/\ (6\times0.85)$	$V_p = (P_u - \gamma_f \times 1 \times P_i)\ /\ b_o d$	
	$V_p = 970.6$ KN/m^2		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		در رابطه فوق ضریب یک بخاطر وجود یک شمع در ناحیه مورد نظر است.	
	$\beta_c = \frac{80}{50} = 1.6 < 2$	$\beta_c = \frac{b_c}{h_c}$	
	چون β_c کمتر از ۲ می‌باشد معادله (۱۲-۳۴) حاکم نیست.		
	$\frac{\alpha_s d}{b_o} = \frac{20 \times 85}{600} = 2.83 > 1$		
	چون $\frac{\alpha_s d}{b_o}$ بزرگتر از ۱ می‌باشد، معادله (۱۲-۳۵) حاکم نیست.		
	$V_c = 2 \times 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{20} \times 10^3$ $V_c = 1073.3 KN.m2 > v_p$ O.K.	$V_c = 2 \times 0.2 \phi_c \sqrt{f_c}$	معادله ۱۲-۳۶
		تذکر: برای کنترل برش عادی، پی را باید در فاصله d از برستون کنترل نمود. اما در این مسئله هیچ شمعی در فاصله دورتز از d از بر ستون قرار ندارد و در واقع مقدار برش در مقطع مورد نظر صفر است.	۱۲-۵-۴
		گام دوم)	
		محاسبه فولاد مورد نیاز	۱۷-۴-۳-۱
		ابتدا M_u در بر ستون محاسبه می‌شود.	۱۷-۴-۳-۲الف
	$M_{u1} = 3 \times 1.375 \times 450 \times (0.9 - \frac{0.5}{2})$ $M_u = 1206.6$ KN.m	$M_{u1} = 3 \times \gamma_f \times P_i \times (0.9 - \frac{h_c}{2})$	فصل ۱۱
	$R = \frac{1206.6 \times 10^{-3}}{2.6 \times 0.85} = 0.546$ MPa	$R = \frac{M_{u1}}{bd^2}$	
	$\rho = \frac{0.85 \times 0.6 \times 20}{0.85 \times 400}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0.546}{0.85 \times 0.6 \times 20}}\right]$ $\rho = 0.00165$	$\rho = \frac{0.85 \phi_c f_c}{\phi_s f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R}{0.85 \phi_c f_c}}\right]$	
	بخاطر کم شدن ρ_1 ، بعد از محاسبه h_f، مقدار فولاد حداقل را حساب کرده و در شالوده قرار می‌دهیم.	مقدار M_{u2} (در جهت b_c) کمتر از M_{u1} خواهدشد. بنابراین نیازی به محاسبه آن نیست.	

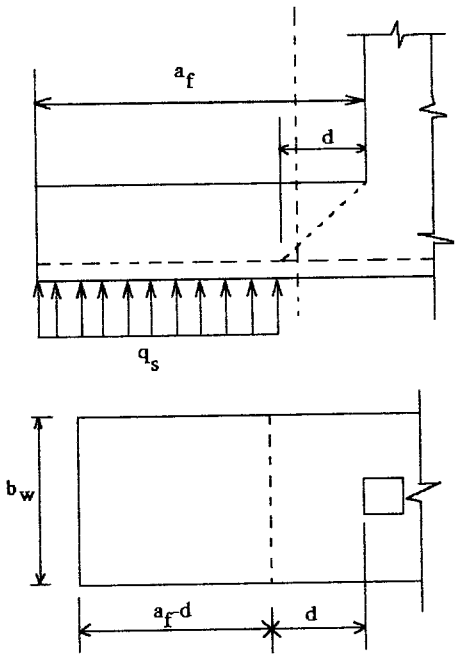
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	از میلگردهای Φ 20 استفاده می‌کنیم. $h_f = 85 + \frac{2}{2} + 2 + 7.5 + 10 = 105.5$ و یا : $h_f = 105$ cm	**گام سوم)** محاسبه h_f ۷/۵ سانتیمتر برای پوشش و ۱۰ سانتیمتر برای جا دادن شمع در داخل بتن در نظر می‌گیریم. با توجه به اینکه عمق موثر d را از مرکز آرماتورهای شبکه فوقانی در نظر گرفته‌ایم داریم: $h_f = d + \frac{d_b}{2} + d_b + 7.5cm + 10cm$	
	$A_{smin} = 0.0018 \times 260 \times 105 = 49.14$ cm^2 USE 16 Φ 20 EACH WAY , A_s=50.24 cm^2	**گام چهارم)** کنترل آرماتور حداقل $A_{Smin} = \rho_{min}.b.h_f$	۳-۲-۵-۱۱ ۱-۳-۷-۸
	در مقایسه با مثال ۶ می‌بینیم که هم ظرفیت باربری شمع‌ها کاسته شده و هم ضخامت پی افزایش یافته است و در عین حال قطر شمع تغییری نکرده است. بنابراین برش عادی و سوراخ‌کننده مربوط به شمع‌های گوشه مشکلی ایجاد نخواهند کرد.	**گام پنجم)** کنترل برش عادی و سوراخ‌کننده برای شمع‌های گوشه. زمانی این موارد حاکم می‌باشند که شمع‌ها کوچک بوده و ضخامت پی کم باشد.	

شالوده ۱) ضریب Kv1 برای محاسبه عمق موثر مورد نیاز d در بر عادی یا یک طرفه

مراجع بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۲-۲ و ۱۲-۳ و ۱۲-۵ و ۱۲-۱۸ و ۱۷-۴-۴ از آیین‌نامه بتن ایران

$$d = k_{v1}\, a_f$$

$$k_{v1} = \frac{q_s \times 10^{-3}}{0.2\phi_c \sqrt{f_c} + q_s \times 10^{-3}}$$



q_s , KN/m^2	K_{v1}		
	f_c , MPa		
	۲۰	۲۵	۳۰
۸۰	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۱
۱۰۰	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۳
۱۲۰	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۵
۱۴۰	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۸
۱۶۰	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۲۰
۱۸۰	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۲۱
۲۰۰	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۳
۲۲۰	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۵
۲۴۰	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۲۷
۲۶۰	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۲۸
۲۸۰	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۰
۳۰۰	۰/۳۶	۰/۳۳	۰/۳۱
۳۲۰	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۳۳
۳۴۰	۰/۳۹	۰/۳۶	۰/۳۴
۳۶۰	۰/۴۰	۰/۳۸	۰/۳۵
۳۸۰	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۳۷
۴۰۰	۰/۴۳	۰/۴۰	۰/۳۸
۴۲۰	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۳۹
۴۴۰	۰/۴۵	۰/۴۲	۰/۴۰
۴۶۰	۰/۴۶	۰/۴۳	۰/۴۱
۴۸۰	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۴۲
۵۰۰	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۴۳
۵۲۰	۰/۴۹	۰/۴۶	۰/۴۴
۵۴۰	۰/۵۰	۰/۴۷	۰/۴۵
۵۶۰	۰/۵۱	۰/۴۸	۰/۴۶
۵۸۰	۰/۵۲	۰/۴۹	۰/۴۷
۶۰۰	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۴۸
۶۲۰	۰/۵۴	۰/۵۱	۰/۴۹
۶۴۰	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۴۹
۶۶۰	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۵۰
۶۸۰	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۵۱
۷۲۰	۰/۵۷	۰/۵۴	۰/۵۲

شالوده ۲-۱) عمق موثر نیاز d برای برش سوراخ‌کننده در حالت $f_c = 20MPa$

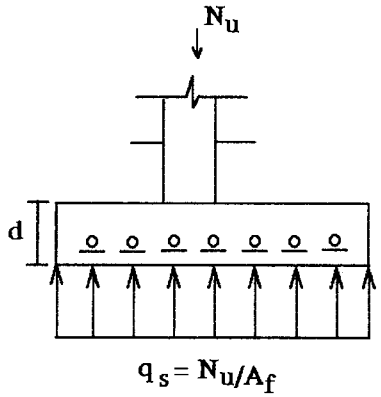
مراجع بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۲-۲-۲ و ۱۲-۳-۳ و ۱۲-۵-۵ و ۱۲-۱۸-۱۸ و ۱۷-۴-۴-۴ از آیین‌نامه بتن ایران

$$\frac{A_f}{A_c} = \frac{960\sqrt{f_c}}{k_{v6} q_s}\left[\frac{d}{h_c} + (\frac{d}{h_c})^2\right] + 1 + 2\frac{d}{h_c} + (\frac{d}{h_c})^2$$

$$k_{v4} = \frac{4}{2 + (\frac{4}{\beta_s})} \geq 1 \quad , \quad k_{v5} = \frac{2}{1 + \frac{\alpha_s d}{b_o}} \geq 1$$

$$K_{v6} = MAX\ (k_{v4}\ ,\ k_{v5})$$

β_c= نسبت ضلع بزرگ سه ضلع کوچک در ستون مستطیل شکل



تذکر: برای استفاده از این جدول ابتدا مقادیر q_s K_{v6} و $\frac{A_f}{A_c}$ را برای مسئله مورد نظر محاسبه کنید. سپس مقدار q_s K_{v6} را در جدول بیابید. و به صورت افقی جلو بروید تا به $\frac{A_f}{A_c}$ موردنظر برسید. حال بصورت قائم به سمت بالا حرکت کنید و مقدار $\frac{d_d}{h_c}$ را بخوانید.

K_{v0}/q_s و KN/m^2	d/h_c																			
	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۱/۰	۱/۱	۱/۲	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۱/۶	۱/۷	۱/۸	۱/۹	۲/۰
	نسبت مساحت شالوده به ستون) A_f/A_c															
۸۰	۴۲/۵	۵۴/۱	۶۶/۸	۸۰/۵	۹۵/۴	۱۱۱/۳	۱۲۸/۴	۱۴۶/۵	۱۶۵/۸	۱۸۶/۱	۲۰۷/۵	۲۳۰/۰	۲۵۳/۶	۲۷۸/۳	۳۰۴/۱	۳۳۱/۰
۱۰۰	۳۴/۴	۴۳/۸	۵۴/۰	۶۵/۱	۷۷/۳	۸۹/۹	۱۰۳/۶	۱۱۸/۲	۱۳۳/۷	۱۵۰/۰	۱۶۷/۲	۱۸۵/۴	۴/۲۰۴	۲۳۴/۲	۲۴۵/۰	۶۲۶/۶
۱۲۰	۳۹/۱	۳۶/۹	۴۵/۵	۵۴/۸	۶۴/۸	۷۵/۶	۸۷/۱	۹۹/۳	۱۱۲/۳	۱۲۶/۰	۱۴۴/۲	۱۵۵/۶	۱۷۱/۵	۱۸۸/۲	۲۰۵/۵	۳۲۲/۷
۱۴۰	۲۵/۲	۳۲/۳	۳۹/۴	۴۷/۴	۵۶/۰	۶۵/۳	۷۵/۲	۸۵/۸	۹۷/۰	۱۰۸/۸	۱۲۱/۲	۱۳۴/۳	۱۴۸/۰	۱۶۲/۴	۱۷۷/۴	۱۹۳/۰
۱۶۰	۲۲/۴	۲۸/۳	۳۴/۸	۴۱/۹	۴۹/۵	۵۷/۷	۶۶/۴	۷۵/۷	۸۵/۵	۹۵/۹	۱۰۶/۹	۱۱۸/۴	۱۳۰/۵	۱۴۳/۱	۱۵۶/۳	۱۷۰/۰
۱۸۰	۲۰/۱	۲۵/۵	۳۱/۳	۳۷/۶	۴۴/۵	۵۱/۷	۵۹/۵	۶۷/۸	۷۶/۶	۸۵/۹	۹۵/۷	۱۰۶/۰	۱۱۶/۸	۱۲۸/۱	۱۳۹/۸	۱۵۲/۱
۲۰۰	۱۸/۳	۲۳/۲	۲۸/۴	۳۴/۲	۴۰/۳	۴۶/۹	۵۴/۰	۶۱/۵	۶۹/۵	۷۷/۹	۸۶/۷	۹۶/۱	۱۰۵/۸	۱۱۶/۰	۱۲۶/۷	۱۳۷/۸
۲۲۰	۱۶/۹	۲۱/۳	۲۶/۱	۳۱/۳	۳۷/۰	۴۳/۰	۴۹/۵	۵۶/۴	۶۳/۶	۷۱/۳	۷۹/۴	۸۷/۹	۹۶/۹	۱۰۶/۲	۱۱۵/۹	۱۲۶/۱
۲۴۰	۱۵/۷	۱۹/۷	۲۴/۲	۲۹/۰	۳۴/۲	۳۹/۸	۴۵/۷	۵۲/۱	۵۸/۸	۶۵/۹	۷۳/۰	۸۱/۲	۸۹/۴	۹۸/۰	۱۰۷/۰	۱۱۶/۳
۲۶۰	۱۴/۶	۱۸/۴	۲۲/۵	۲۷/۰	۳۱/۸	۳۷/۰	۴۲/۶	۴۸/۴	۵۴/۷	۶۱/۲	۶۸/۲	۷۵/۵	۸۳/۱	۹۱/۱	۹۹/۴	۱۰۸/۱
۲۸۰	۱۳/۷	۱۷/۳	۲۱/۱	۲۵/۳	۲۹/۸	۳۴/۷	۳۹/۸	۴۵/۳	۵۱/۱	۵۷/۳	۶۳/۷	۷۰/۵	۷۷/۷	۸۵/۱	۹۲/۹	۱۰۱/۰
۳۰۰	۱۳/۰	۱۶/۳	۱۹/۹	۲۳/۸	۲۸/۱	۳۳/۶	۳۷/۵	۴۲/۶	۴۸/۱	۵۳/۸	۵۹/۹	۶۶/۳	۷۳/۰	۸۰/۰	۸۷/۳	۹۴/۹
۳۲۰	۱۲/۳	۱۵/۴	۱۸/۹	۲۲/۶	۲۶/۶	۳۰/۸	۳۵/۴	۴۰/۳	۴۵/۴	۵۰/۸	۵۶/۶	۶۲/۶	۶۸/۹	۷۵/۵	۸۲/۳	۸۹/۵
۳۴۰	۱۱/۷	۱۴/۷	۱۷/۹	۲۱/۴	۲۵/۲	۲۹/۳	۳۳/۶	۳۸/۲	۴۳/۰	۴۸/۲	۵۳/۶	۵۹/۳	۶۵/۲	۷۱/۵	۷۸/۰	۸۴/۸
۳۶۰	۱۱/۲	۱۴/۰	۱۷/۱	۲۰/۴	۲۴/۰	۲۷/۹	۳۲/۰	۳۶/۳	۴۰/۹	۸/۴۵	۵۱/۰	۵۶/۴	۶۲/۰	۶۷/۹	۷۴/۱	۸۰/۶
۳۸۰	۱۰/۷	۱۳/۴	۱۶/۳	۱۹/۵	۲۲/۹	۲۶/۶	۳۰/۵	۳۴/۷	۳۹/۱	۴۳/۷	۴۸/۶	۵۳/۸	۵۹/۱	۶۴/۸	۷۰/۷	۷۶/۸
۴۰۰	۱۰/۳	۱۲/۹	۱۵/۷	۱۸/۷	۲۲/۰	۲۵/۵	۲۹/۲	۳۳/۲	۳۷/۴	۴۱/۸	۴۶/۵	۵۱/۴	۵۶/۶	۶۱/۹	۶۷/۵	۷۳/۴
۴۲۰	۹/۹	۱۲/۴	۱۵/۱	۱۸/۰	۲۱/۱	۲۴/۴	۲۸/۰	۳۱/۸	۳۵/۹	۴۰/۱	۴۴/۶	۴۹/۳	۵۴/۲	۵۹/۴	۶۴/۷	۷۰/۳
۴۴۰	۹/۶	۱۱/۹	۱۴/۵	۱۷/۳	۲۰/۳	۲۳/۵	۲۶/۹	۳۰/۶	۳۴/۵	۳۸/۵	۴۲/۶	۴۷/۴	۵۲/۱	۵۷/۰	۶۲/۲	۶۷/۵
۴۶۰	۹/۲	۱۱/۵	۱۴/۰	۱۶/۷	۱۹/۶	۲۲/۷	۲۶/۰	۲۹/۵	۳۳/۲	۳۷/۱	۴۱/۲	۴۵/۶	۵۰/۱	۵۴/۹	۵۹/۸	۶۵/۰
۴۸۰	۹/۰	۱۱/۱	۱۳/۵	۱۶/۱	۱۸/۹	۲۱/۹	۲۵/۱	۲۸/۵	۳۲/۰	۳۵/۸	۳۹/۸	۴۴/۰	۴۸/۳	۵۲/۹	۵۷/۷	۶۲/۷
۵۰۰	۸/۷	۱۰/۸	۱۳/۱	۱۵/۶	۱۸/۳	۲۱/۲	۲۴/۲	۲۷/۵	۳۱/۰	۳۴/۶	۳۸/۴	۴۲/۵	۴۶/۷	۵۱/۱	۵۵/۷	۶۰/۵
۵۲۰	۸/۴	۱۰/۵	۱۲/۷	۱۵/۱	۱۷/۷	۲۰/۵	۲۳/۵	۲۶/۶	۳۰/۰	۳۳/۵	۳۷/۲	۴۱/۱	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۳/۹	۵۸/۵
۱۴۰	۸/۲	۱۰/۲	۱۲/۴	۱۴/۷	۱۷/۲	۱۹/۹	۲۲/۸	۲۵/۸	۲۹/۱	۳۲/۵	۳۶/۱	۳۹/۸	۴۳/۸	۴۷/۹	۵۲/۲	۵۶/۷
۵۶۰	۸/۰	۹/۹	۱۲/۰	۱۴/۳	۱۶/۷	۱۹/۳	۲۲/۱	۲۵/۱	۲۸/۲	۳۱/۵	۳۵/۰	۳۸/۷	۴۲/۵	۴۶/۵	۵۰/۷	۵۵/۰
۵۸۰	۷/۸	۹/۷	۱۱/۷	۱۳/۹	۱۶/۳	۱۸/۸	۲۱/۵	۲۴/۴	۲۷/۴	۳۰/۶	۳۴/۰	۳۷/۶	۴۱/۳	۴۵/۱	۴۹/۲	۵۳/۴
۶۰۰	۷/۶	۹/۴	۱۱/۴	۱۳/۵	۱۵/۸	۱۸/۳	۲۰/۹	۲۳/۷	۲۶/۷	۲۹/۸	۳۳/۱	۳۶/۵	۴۰/۱	۴۳/۹	۴۷/۸	۵۱/۹
۶۲۰	۷/۴	۹/۲	۱۱/۱	۱۳/۲	۱۵/۵	۱۷/۸	۲۰/۴	۲۳/۱	۲۶/۰	۲۹/۰	۳۳/۲	۳۵/۶	۳۹/۱	۴۲/۷	۴۶/۶	۵۰/۵
۶۴۰	۷/۳	۹/۰	۱۰/۹	۱۲/۹	۱۵/۱	۱۷/۴	۱۹/۹	۲۲/۵	۲۵/۱۰	۲۸/۳	۳۱/۴	۳۴/۷	۳۸/۱	۴۱/۶	۴۵/۴	۴۹/۲
۶۶۰	۷/۱	۸/۸	۱۰/۶	۱۲/۶	۱۴/۷	۱۷/۰	۱۹/۴	۲۲/۸	۲۴/۷	۲۷/۶	۳۰/۶	۳۳/۸	۳۷/۱	۴۰/۶	۴۴/۳	۴۸/۰
۶۸۰	۷/۰	۸/۶	۱۰/۴	۱۲/۳	۱۴/۴	۱۶/۶	۱۹/۰	۲۱/۵	۲۴/۲	۲۷/۰	۲۹/۹	۳۳/۰	۳۶/۳	۳۹/۷	۴۳/۲	۴۶/۹
۷۰۰	۶/۸	۸/۴	۱۰/۲	۱۲/۱	۱۴/۱	۱۶/۳	۱۸/۶	۲۱/۰	۲۳/۶	۲۶/۴	۲۹/۲	۳۲/۳	۳۵/۴	۳۸/۸	۴۲/۲	۴۵/۸

شالوده ۲-۲) عمق موثر نیاز d برای برش سوراخ‌کننده در حالت $f_c = 25MPa$

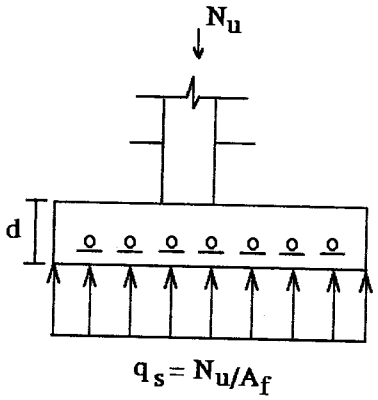
مراجع بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۲-۱ و ۱۲-۳ و ۱۲-۸ و ۱۲-۱۸ و ۱۷-۴-۴ از آیین‌نامه بتن ایران

$$\frac{A_f}{A_c} = \frac{960\sqrt{f_c}}{k_{v6} q_s}\left[\frac{d}{h_c} + (\frac{d}{h_c})^2\right] + 1 + 2\frac{d}{h_c} + (\frac{d}{h_c})^2$$

$$k_{v4} = \frac{4}{2 + (\frac{4}{\beta_s})} \geq 1 \quad , \quad k_{v5} = \frac{2}{1 + \frac{\alpha_s d}{b_o}} \geq 1$$

$$K_{v6} = MAX\ (k_{v4}\ ,\ k_{v5})$$

β_c= نسبت ضلع بزرگ سه ضلع کوچک در ستون مستطیل شکل



تذکر: برای استفاده از این جدول ابتدا مقادیر $K_{v6}\ q_s$ و $\frac{A_f}{A_c}$ را برای مسئله مورد نظر محاسبه کنید. سپس مقدار $K_{v6}\ q_s$ را در جدول بیابید. و به صورت افقی جلو بروید تا به $\frac{A_f}{A_c}$ موردنظر برسید. حال بصورت قائم به سمت بالا حرکت کنید و مقدار $\frac{d_d}{h_c}$ را بخوانید.

$K_{v\phi}/q_s$ و KN/m^2	d/h_c																			
	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۱/۰	۱/۱	۱/۲	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۱/۶	۱/۷	۱/۸	۱/۹	۲/۰				
	نسبت مساحت شالوده به ستون) A_f/A_c																			
۸۰	۳۷/۳	۶۰/۲	۷۴/۳	۸۹/۶	۱۰۶/۲	۱۲۴/۰	۱۴۳/۰	۱۶۳/۲	۱۸۴/۷	۲۰۷/۴	۲۳۱/۳	۲۵۶/۴	۲۷۷/۷	۳۱۰/۲	۳۳۹/۰	۳۶۹/۰				
۱۰۰	۳۸/۳	۴۸/۰	۶۰/۰	۷۲/۴	۸۵/۷	۱۰۰/۰	۱۱۵/۳	۱۳۱/۶	۱۴۸/۸	۰/۱۶۷	۱۸۶/۳	۲۰۶/۴	۲۲۷/۶	۲۴۹/۸	۷۲۷/۹	۲۹۷/۰				
۱۲۰	۳۲/۳	۴۱/۰	۵۰/۵	۶۰/۸	۷۲/۰	۸۴/۰	۹۶/۸	۱۱۰/۴	۱۲۴/۹	۱۴۰/۲	۱۵۶/۳	۱۷۳/۲	۱۹۰/۹	۲۰۹/۴	۲۲۸/۸	۲۴۹/۰				
۱۴۰	۲۸/۰	۳۵/۵	۴۳/۷	۵۲/۶	۶۲/۲	۷۲/۰	۸۳/۶	۹۵/۴	۱۰۷/۸	۱۲۱/۰	۱۳۴/۸	۱۴۹/۴	۱۶۴/۷	۱۸۰/۶	۱۹۷/۳	۲۱۴/۷				
۱۶۰	۲۴/۸	۳۱/۴	۳۸/۶	۴۶/۴	۵۴/۹	۶۴/۰	۷۳/۷	۸۴/۰	۹۵/۰	۱۰۶/۶	۱۱۸/۸	۱۳۱/۶	۱۴۵/۰	۱۵۹/۰	۱۷۳/۷	۱۸۹/۰				
۱۸۰	۲۲/۳	۲۸/۱	۳۴/۶	۴۱/۶	۴۹/۲	۵۷/۳	۶۶/۰	۷۵/۲	۸۵/۰	۹۵/۴	۱۰۶/۳	۱۱۷/۷	۱۲۹/۷	۱۴۲/۲	۱۵۵/۳	۱۶۹/۰				
۲۰۰	۲۰/۳	۲۵/۶	۳۱/۵	۳۷/۸	۴۴/۷	۵۲/۰	۵۹/۹	۶۲/۸	۷۷/۱	۸۶/۴	۹۶/۳	۱۰۶/۶	۱۱۷/۵	۱۲۷/۸	۱۴۰/۷	۱۵۳/۰				
۲۲۰	۱۸/۶	۲۳/۵	۲۸/۹	۳۳/۷	۴۰/۹	۴۷/۶	۵۴/۸	۶۲/۴	۷۰/۵	۷۹/۱	۸۸/۱	۹۷/۵	۱۰۷/۴	۱۱۷/۸	۱۲۸/۶	۱۳۹/۹				
۲۴۰	۱۷/۳	۲۱/۸	۲۶/۷	۳۲/۰	۳۷/۸	۴۴/۰	۵۰/۶	۵۷/۶	۶۵/۱	۷۳/۰	۸۱/۳	۹۰/۰	۹۹/۱	۱۰۸/۶	۱۱۸/۶	۱۲۹/۰				
۲۶۰	۱۶/۱	۲۰/۳	۲۴/۹	۵۴/۴	۳۵/۲	۴۰/۹	۴۷/۱	۵۳/۶	۶۰/۵	۶۷/۸	۷۵/۵	۸۳/۶	۹۲/۰	۱۰۰/۹	۱۱۰/۱	۱۱۹/۸				
۲۸۰	۱۵/۱	۱۹/۰	۲۳/۳	۲۷/۹	۳۲/۹	۳۸/۳	۴۴/۰	۵۰/۱	۵۶/۵	۶۳/۴	۷۰/۵	۷۸/۱	۸۶/۰	۹۴/۲	۱۰۲/۹	۱۱۱/۹				
۳۰۰	۱۴/۶	۱۷/۹	۲۱/۹	۲۶/۳	۳۱/۰	۳۶/۰	۴۱/۴	۴۷/۱	۵۳/۱	۵۹/۵	۶۶/۳	۷۳/۳	۸۰/۷	۸۸/۵	۹۶/۶	۱۰۵/۰				
۳۲۰	۱۳/۵	۱۷/۰	۲۰/۷	۲۴/۸	۲۹/۳	۳۴/۰	۳۹/۱	۴۴/۴	۵۰/۱	۵۶/۲	۶۲/۵	۶۹/۲	۷۶/۱	۸۴/۳	۹۱/۱	۹۹/۰				
۳۴۰	۱۲/۸	۱۶/۱	۱۹/۷	۲۳/۶	۲۷/۸	۲/۳۱۲	۳۷/۰	۴۲/۱	۴۷/۵	۵۳/۲	۵۹/۲	۶۵/۵	۷۲/۱	۷۹/۰	۸۶/۲	۹۳/۷				
۳۶۰	۱۲/۳	۱۵/۴	۱۸/۸	۲۲/۴	۲۶/۴	۳۰/۷	۳۵/۲	۴۰/۱	۴۵/۹	۵۱/۴	۵۶/۴	۶۲/۲	۶۸/۵	۷۵/۰	۸۱/۹	۸۹/۰				
۳۸۰	۱۱/۷	۱۴/۷	۱۷/۹	۲۱/۴	۲۵/۲	۲۹/۳	۳۳/۶	۳۸/۲	۴۳/۱	۴۸/۲	۵۳/۶	۵۹/۳	۶۵/۳	۷۱/۵	۷۸/۰	۸۴/۸				
۴۰۰	۱۱/۳	۱۴/۱	۱۷/۲	۲۰/۵	۲۴/۱	۲۸/۰	۳۲/۱	۳۶/۵	۴۱/۲	۴۶/۱	۵۱/۳	۵۶/۷	۶۲/۴	۶۸/۳	۷۴/۵	۸۱/۰				
۴۲۰	۱۰/۸	۱۳/۵	۱۶/۵	۱۹/۷	۲۳/۲	۲۶/۹	۳۰/۸	۳۵/۰	۳۹/۵	۴۴/۲	۴۹/۱	۵۴/۳	۵۹/۷	۶۵/۴	۷۱/۴	۷۷/۶				
۴۴۰	۱۰/۳	۱۳/۰	۱۵/۹	۱۸/۹	۲۲/۳	۲۵/۸	۲۹/۶	۳۳/۶	۳۷/۹	۴۲/۴	۴۷/۲	۵۲/۱	۵۷/۴	۶۲/۸	۶۸/۵	۷۴/۵				
۴۶۰	۱۰/۱	۱۲/۶	۱۵/۳	۱۸/۳	۲۱/۵	۲۴/۹	۲۸/۵	۳۲/۴	۳۶/۵	۴۰/۸	۴۵/۴	۵۰/۲	۵۵/۲	۶۰/۴	۶۵/۹	۷۱/۶				
۴۸۰	۹/۸	۱۲/۲	۱۴/۸	۱۷/۶	۲۰/۷	۲۴/۰	۲۷/۵	۳۱/۲	۳۵/۲	۳۹/۴	۴۳/۸	۴۸/۴	۵۳/۲	۵۸/۲	۶۳/۵	۶۹/۰				
۵۰۰	۹/۵	۱۱/۸	۱۴/۳	۱۷/۱	۲۰/۰	۲۳/۲	۲۶/۶	۳۰/۲	۳۴/۰	۳۸/۰	۴۲/۳	۴۶/۷	۵۱/۴	۵۶/۲	۶۱/۳	۶۶/۶				
۵۲۰	۹/۲	۱۱/۴	۱۳/۹	۱۶/۵	۱۹/۴	۲۲/۵	۲۵/۷	۲۹/۲	۳۲/۹	۳۶/۸	۴۰/۹	۴۵/۲	۴۹/۷	۵۴/۴	۵۹/۳	۶۴/۴				
۵۴۰	۸/۹	۱۱/۱	۱۳/۵	۱۶/۱	۱۸/۸	۲۱/۸	۲۴/۹	۲۸/۳	۳۱/۹	۳۵/۶	۳۹/۶	۴۳/۷	۴۸/۱	۵۲/۶	۵۷/۴	۶۲/۳				
۵۶۰	۸/۷	۱۰/۸	۱۳/۱	۱۵/۶	۱۸/۳	۲۱/۱	۲۴/۲	۲۷/۵	۳۰/۹	۳۴/۶	۳۸/۴	۴۲/۴	۴۶/۶	۵۱/۰	۵۵/۶	۶۰/۴				
۵۸۰	۸/۵	۱۰/۵	۱۲/۷	۱۵/۲	۱۷/۸	۲۰/۶	۲۳/۵	۲۶/۷	۳۰/۰	۳۳/۶	۳۷/۳	۴۱/۲	۴۵/۳	۴۹/۶	۵۴/۰	۵۸/۷				
۶۰۰	۸/۳	۱۰/۲	۱۲/۴	۱۴/۸	۱۷/۳	۲۰/۰	۲۲/۹	۲۶/۰	۲۹/۲	۳۲/۶	۳۶/۳	۴۰/۰	۴۴/۰	۴۸/۲	۵۲/۵	۵۷/۰				
۶۲۰	۸/۱	۱۰/۰	۱۲/۱	۱۴/۴	۱۶/۸	۱۹/۵	۲۲/۳	۲۵/۳	۲۸/۴	۳۱/۸	۳۵/۳	۳۹/۰	۴۲/۸	۴۶/۹	۵۱/۱	۵۵/۵				
۶۴۰	۷/۹	۹/۸	۱۱/۸	۱۴/۰	۱۶/۴	۱۸/۷	۲۱/۷	۲۴/۶	۲۷/۷	۳۱/۰	۳۴/۴	۳۸/۰	۴۱/۷	۴۵/۶	۴۹/۷	۵۴/۰				
۶۶۰	۷/۷	۹/۵	۱۱/۵	۱۳/۷	۱۶/۰	۱۸/۵	۲۱/۲	۲۴/۰	۲۷/۰	۳۰/۲	۳۳/۵	۳۷/۰	۴۰/۷	۴۴/۵	۴۸/۵	۵۲/۶				
۶۸۰	۷/۵	۹/۳	۱۱/۳	۱۳/۴	۱۵/۷	۱۸/۱	۲۰/۷	۲۳/۵	۲۶/۴	۲۹/۵	۳۲/۷	۳۶/۱	۳۹/۷	۴۳/۴	۴۷/۳	۵۱/۴				
۷۰۰	۷/۴	۹/۱	۱۱/۱	۱۳/۱	۱۵/۳	۱۷/۷	۲۰/۳	۲۳/۹	۲۵/۸	۲۸/۸	۳۲/۰	۳۵/۳	۳۹/۸	۴۳/۴	۴۷/۴	۵۰/۱				

شالوده ۲-۳) عمق موثر نیاز d برای برش سوراخ‌کننده در حالت $f_c = 30MPa$

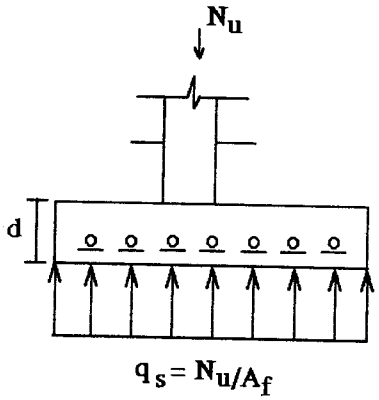
مراجع بندهای ۱۰-۵-۲-۲ و ۱۲-۱ و ۱۲-۳ و ۱۲-۸ و ۱۲-۱۸ و ۱۷-۴-۴ از آیین‌نامه بتن ایران

$$\frac{A_f}{A_c} = \frac{960\sqrt{f_c}}{k_{v6} q_s}\left[\frac{d}{h_c} + (\frac{d}{h_c})^2\right] + 1 + 2\frac{d}{h_c} + (\frac{d}{h_c})^2$$

$$k_{v4} = \frac{4}{2 + (\frac{4}{\beta_s})} \geq 1 \quad , \quad k_{v5} = \frac{2}{1 + \frac{\alpha_s d}{b_o}} \geq 1$$

$$K_{v6} = MAX\ (k_{v4}\ ,\ k_{v5})$$

β_c= نسبت ضلع بزرگ سه ضلع کوچک در ستون مستطیل شکل

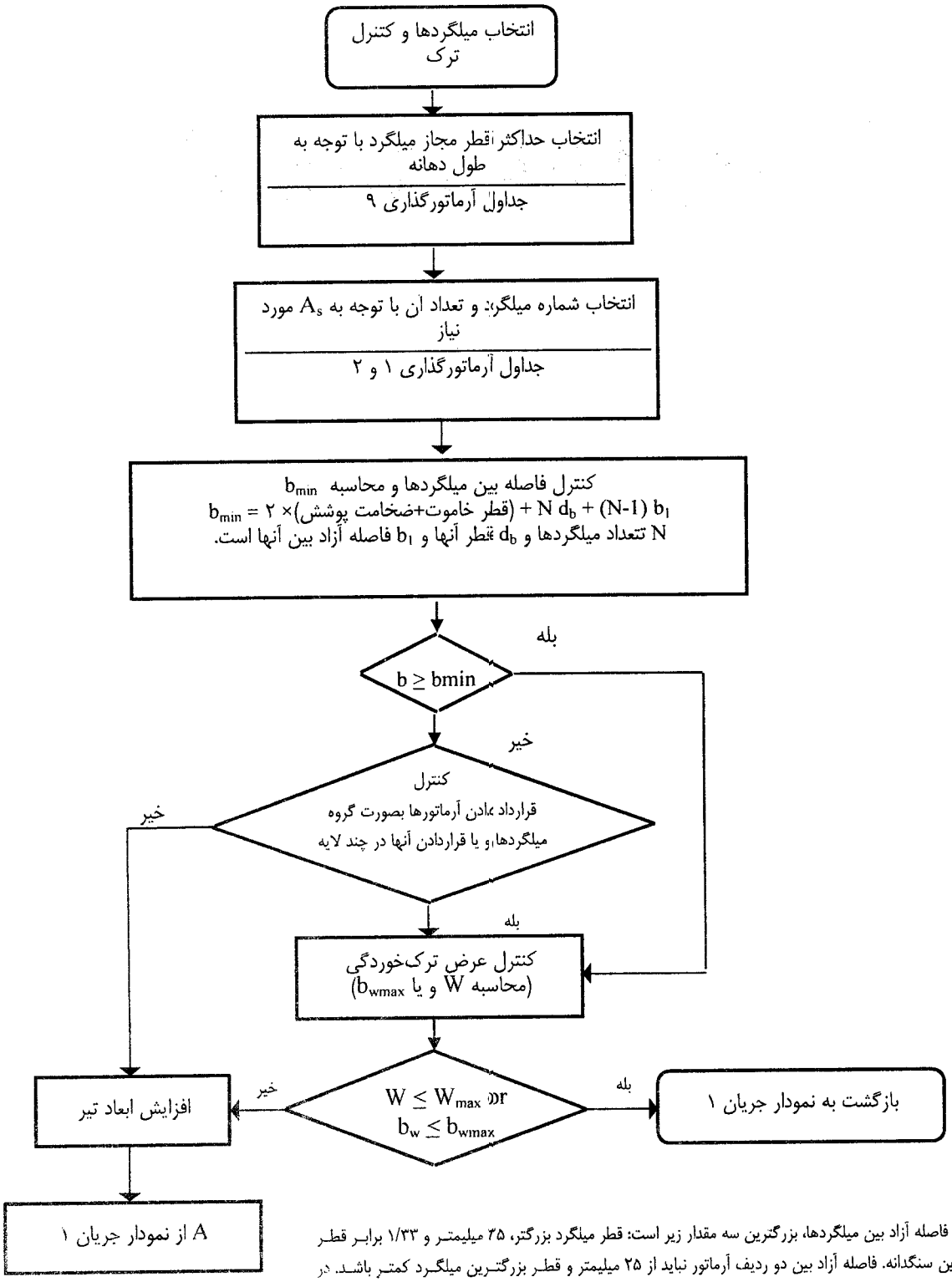


تذکر: برای استفاده از این جدول ابتدا مقادیر $K_{v6}\ q_s$ و $\frac{A_f}{A_c}$ را برای مسئله مورد نظر محاسبه کنید. سپس مقدار $K_{v6}\ q_s$ را در جدول بیابید. و به صورت افقی جلو بروید تا به $\frac{A_f}{A_c}$ موردنظر برسید. حال بصورت قائم به سمت بالا حرکت کنید و مقدار $\frac{d_d}{h_c}$ را بخوانید.

K_{v0}/q_s و KN/m^2	d/h_c																		
	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۷۰	۰/۱۸	۰/۹۰	۱/۰	۱/۱	۱/۲	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۱/۶	۱/۷	۱/۸	۱/۹	۲/۰			
	نسبت مساحت شالوده به ستون (A_f/A_c)																		
۸۰	۵۱/۱	۶۵/۷	۸۱/۱	۹۷/۹	۱۱۶/۰	۱۳۵/۵	۱۵۳/۲	۱۷۸/۴	۲۰۱/۸	۲۲۶/۶	۲۵۲/۷	۲۸۰/۲	۳۰۹/۰	۳۳۹/۱	۳۷۰/۶	۴۰۳/۴			
۱۰۰	۴۱/۷	۵۳/۰	۶۵/۵	۷۹/۰	۹۳/۵	۱۰۹/۲	۱۲۵/۹	۱۴۳/۷	۱۶۲/۵	۱۸۲/۴	۲۰۳/۴	۲۲۵/۵	۲۴۸/۶	۱۷۲/۹	۲۹۸/۱	۳۲۴/۵			
۱۲۰	۳۵/۱	۴۴/۶	۵۵/۰	۶۶/۳	۷۸/۵	۹۱/۶	۱۰۵/۹	۱۲۰/۵	۱۳۶/۳	۱۵۳/۰	۱۰۷/۶	۱۸۹/۰	۲۰۸/۴	۲۲۸/۷	۲۴۹/۸	۲۷۱/۹			
۱۴۰	۳۰/۴	۳۸/۶	۴۷/۶	۵۷/۳	۶۷/۸	۷۹/۱	۹۱/۲	۱۰۴/۰	۱۱۷/۶	۱۳۲/۰	۱/۱۴۷	۱۶۳/۰	۱۷۹/۷	۱۹۷/۱	۲۱۵/۴	۲۳۴/۳			
۱۶۰	۲۶/۹	۳۴/۱	۴۲/۰	۵۰/۶	۵۹/۸	۶۹/۷	۸۰/۳	۹۱/۶	۱۰۳/۶	۱۱۶/۹	۵/۱۲۹	۱۴۳/۵	۱۵۸/۱	۱۷۳/۵	۱۸۹/۵	۲۰۶/۲			
۱۸۰	۲۴/۲	۳۰/۶	۳۷/۷	۴۵/۳	۵۳/۶	۶۲/۴	۷۱/۹	۸۲/۰	۹۲/۶	۱۰۳/۹	۸/۱۱۵	۱۲۸/۳	۱۴۱/۴	۱۵۵/۱	۱۶۹/۴	۱۸۴/۳			
۲۰۰	۲۲/۰	۲۷/۸	۳۴/۲	۴۱/۱	۴۸/۶	۵۶/۶	۶۵/۱	۷۴/۲	۸۳/۹	۹۴/۱	۸/۱۰۴	۱۱۶/۱	۱۲۸/۰	۱۴۰/۲	۱۵۲/۳	۱۶۶/۷			
۲۲۰	۲۰/۲	۲۵/۵	۳۱/۳	۳۷/۷	۴۴/۵	۵۱/۸	۵۹/۶	۶۷/۹	۷۶/۸	۸۶/۱	۹۵/۹	۱۰۶/۲	۱۱۷/۰	۱۲۸/۳	۱۴۰/۱	۱۵۲/۴			
۲۴۰	۱۸/۷	۲۳/۶	۲۹/۰	۳۴/۸	۴۱/۱	۴۷/۸	۵۵/۰	۶۲/۷	۷۰/۸	۷۹/۴	۸۸/۴	۹۷/۹	۱۰۷/۹	۱۱۸/۳	۱۲۹/۱	۱۴۰/۵			
۲۶۰	۱۷/۴	۲۲/۰	۲۷/۰	۳۲/۴	۳۸/۲	۴۴/۴	۵۱/۱	۵۸/۲	۶۵/۸	۷۳/۷	۸۲/۱	۹۰/۹	۱۰۰/۱	۱۰۹/۸	۱۱۹/۸	۱۳۰/۳			
۲۸۰	۱۶/۳	۲۰/۶	۲۵/۲	۳۰/۳	۳۵/۷	۴۱/۶	۴۷/۸	۵۴/۴	۶۱/۴	۶۸/۹	۷۶/۷	۸۴/۹	۹۳/۵	۱۰۲/۵	۱۱۱/۹	۱۲۱/۷			
۳۰۰	۱۵/۴	۱۹/۴	۲۳/۷	۲۸/۵	۳۳/۶	۳۹/۱	۴۴/۹	۵۱/۱	۵۷/۷	۶۴/۷	۷۲/۰	۷۹/۷	۸۷/۷	۹۶/۲	۱۰۵/۰	۱۱۴/۲			
۳۲۰	۱۴/۶	۱۸/۳	۲۲/۴	۲۶/۹	۳۱/۷	۳۶/۹	۴۲/۴	۴۸/۲	۵۴/۴	۶۱/۰	۶۷/۹	۷۵/۱	۸۲/۷	۹۰/۷	۹۸/۹	۱۰۷/۶			
۳۴۰	۱۳/۸	۱۷/۴	۲۱/۳	۲۵/۵	۳۰/۱	۳۴/۹	۴۰/۱	۴۵/۷	۵۱/۵	۵۷/۷	۶۴/۲	۷۱/۱	۷۸/۳	۸۵/۸	۹۳/۶	۱۰۱/۶			
۳۶۰	۱۳/۲	۱۶/۶	۲۰/۳	۲۴/۳	۲۸/۶	۳۳/۲	۳۸/۱	۴۳/۴	۴۹/۰	۵۴/۸	۶۰/۱۰	۶۶/۷۵	۷۴/۳۵	۸۱/۵۵	۸۹/۰۹	۹۶/۰			
۳۸۰	۱۲/۶	۱۵/۸	۱۹/۴	۲۳/۲	۲۷/۳	۳۱/۷	۳۶/۴	۴۱/۴	۴۶/۷	۵۲/۳	۵۸/۱	۶۴/۳	۷۰/۱۸	۷۶/۶	۸۴/۷	۹۲/۰			
۴۰۰	۱۲/۱	۱۵/۲	۱۸/۵	۲۲/۲	۲۶/۱	۳۰/۳	۳۴/۸	۳۹/۵	۴۴/۶	۴۹/۹	۵۵/۵	۶۱/۴	۶۷/۶	۷۴/۱	۸۰/۸	۸۷/۹			
۴۲۰	۱۱/۶	۱۴/۶	۱۷/۸	۲۱/۳	۲۵/۰	۲۹/۰	۳۳/۳	۳۷/۹	۴۲/۷	۴۷/۸	۵۳/۲	۵۸/۸	۶۴/۸	۷۰/۹	۷۷/۴	۸۴/۱			
۴۴۰	۱۱/۲	۱۴/۰	۱۷/۱	۲۰/۴	۲۴/۰	۲۷/۹	۳۲/۰	۳۶/۴	۴۱/۰	۴۵/۹	۵۱/۱	۵۶/۵	۶۲/۱	۶۸/۱	۷۴/۳	۸۰/۷			
۴۶۰	۱۰/۸	۱۳/۵	۱۶/۵	۱۹/۷	۲۳/۲	۲۶/۹	۳۰/۸	۳۵/۰	۳۹/۵	۴۴/۲	۴۹/۱	۵۴/۳	۵۹/۸	۶۵/۵	۷۱/۴	۷۷/۶			
۴۸۰	۱۰/۵	۱۳/۱	۱۵/۹	۱۹/۰	۲۲/۳	۲۵/۹	۲۹/۷	۳۳/۸	۳۸/۰	۴۲/۶	۴۷/۳	۵۲/۳	۵۷/۶	۶۳/۱	۶۸/۸	۷۴/۷			
۵۰۰	۱۰/۱	۱۲/۷	۱۵/۴	۱۸/۴	۲۱/۶	۲۵/۰	۲۸/۷	۳۲/۶	۳۶/۷	۴۱/۱	۴۵/۷	۵۰/۵	۵۵/۶	۶۰/۸	۶۶/۴	۷۲/۱			
۵۲۰	۸/۹	۱۲/۳	۱۴/۹	۱۷/۸	۲۰/۹	۲۴/۲	۲۷/۸	۳۱/۵	۳۵/۵	۳۹/۷	۴۴/۲	۴۸/۸	۵۳/۷	۵۸/۸	۶۴/۱	۶۹/۷			
۱۴۰	۶/۹	۱۱/۹	۱۴/۵	۱۷/۳	۲۰/۳	۲۳/۵	۲۶/۹	۳۰/۵	۳۴/۴	۳۸/۵	۴۲/۸	۴۷/۳	۵۲/۰	۵۶/۹	۶۲/۱	۶۷/۴			
۵۶۰	۳/۹	۱۱/۶	۱۴/۱	۱۶/۸	۱۹/۷	۲۲/۸	۲۶/۱	۲۹/۶	۳۳/۴	۳۷/۳	۴۱/۵	۴۵/۸	۵۰/۴	۵۵/۲	۶۰/۱	۶۵/۳			
۵۸۰	۰/۹	۱۱/۳	۱۳/۷	۱۶/۳	۱۹/۱	۲۲/۱	۲۵/۴	۲۸/۸	۳۲/۴	۳۶/۲	۴۰/۲	۴۴/۵	۴۸/۹	۵۳/۵	۵۸/۴	۶۳/۴			
۶۰۰	۸/۸	۱۱/۰	۱۳/۳	۱۵/۹	۱۸/۶	۲۱/۵	۲۴/۷	۲۸/۰	۳۱/۵	۳۵/۲	۳۹/۱	۴۳/۲	۴۷/۵	۵۲/۰	۵۶/۷	۶۱/۸			
۶۲۰	۶/۸	۱۰/۷	۱۳/۰	۱۵/۵	۱۸/۱	۲۱/۰	۲۴/۰	۲۷/۲	۳۰/۶	۳۴/۳	۳۸/۱	۴۲/۰	۴۶/۲	۵۰/۶	۵۵/۱	۵۹/۹			
۶۴۰	۴/۸	۱۰/۱	۱۲/۷	۱۵/۱	۱۷/۷	۲۰/۴	۲۳/۴	۲۶/۵	۲۹/۹	۳۳/۴	۳۷/۱	۴۰/۹	۴۵/۰	۴۹/۲	۵۳/۷	۵۸/۳			
۶۶۰	۲/۸	۱۰/۲	۱۲/۴	۱۴/۷	۱۷/۲	۱۹/۹	۲۲/۸	۲۵/۹	۲۹/۱	۳۲/۵	۳۶/۱	۳۹/۹	۴۳/۹	۴۸/۰	۵۲/۳	۵۸/۶			
۶۸۰	۰/۸	۱۰/۰	۱۲/۱	۱۴/۴	۱۶/۸	۱۹/۵	۲۲/۳	۲۵/۳	۲۸/۱	۳۱/۷	۳۵/۲	۳۸/۹	۴۲/۸	۴۶/۸	۵۱/۰	۵۵/۴			
۷۰۰	۹/۷	۸/۹	۱۱/۸	۱۴/۱	۱۶/۵	۱۹/۰	۲۱/۸	۲۴/۷	۲۷/۷	۳۱/۰	۳۴/۴	۳۸/۰	۴۱/۸	۴۵/۷	۴۹/۸	۵۴/۱			

آرماتورگذاری

نمودار جریان ۱-۴ : انتخاب میلگردها و کنترل ترک در تیرهای بدون محدودیت ارتفاعی



حداقل فاصله آزاد بین میلگردها، بزرگترین سه مقدار زیر است: قطر میلگرد بزرگتر، ۳۵ میلیمتر و ۱/۳۳ برابر قطر بزرگترین سنگدانه. فاصله آزاد بین دو ردیف آرماتور نباید از ۲۵ میلیمتر و قطر بزرگترین میلگرد کمتر باشد. در صورت قراردادن میلگردها در چند ردیف عمق موثر d کاهش می‌یابد. و تیر باید برای عمق مجدداً کنترل گردد.

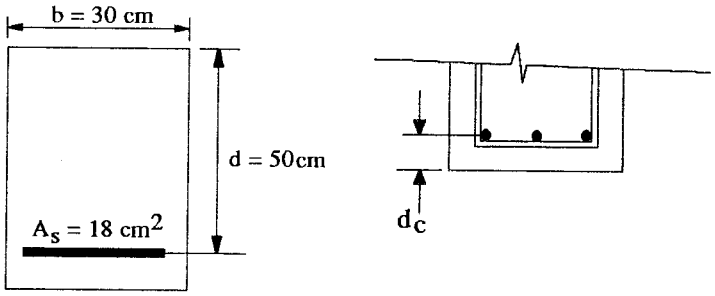
W از رابطه $W=13\times10^{-6} \times f_s \sqrt[3]{d_c.A}$ و b_{wmax} از جداول آرماتورگذاری ۳ و ۴ به دست می‌آید.

مثال ۱ انتخاب میلگردها برای تیر مستطیل شکل و تحت اثر خمش ساده، با توجه به ضوابط مربوط به فواصل میلگردهـا و پوشش آرماتورها و عرض ترک‌خوردگی

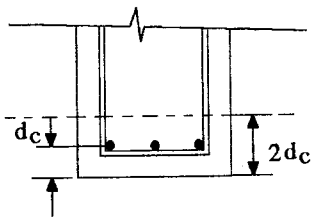
تیر شکل زیر را در یک لایه آرماتورگذاری کنید. شرایط محیطی شدید، و خاموتهای مصرفی از نوع Φ12 می‌باشند.

: مشخصات

$f_c = 30$ Mpa
$f_y = 400$ Mpa
$b = 30$ cm
2 cm = قطر بزرگترین سنگدانه



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف: با استفاده از روش تحلیلی	
	با توجه به اینکه $A_s = 18cm^2$ می‌باشد، از $5\Phi22(A_s=19.01cm^2)$ و یا $(A_s = 18.47\ cm^2)$ $3\Phi28$ استفاده می‌کنیم.	**گام اول)** انتخاب میلگردها با توجه به مقدار As میلگردها را انتخاب می‌کنیم.	
	برای Φ22 و Φ28 به ترتیب حداقل فاصله آزاد بین میلگردها برابر 2.66cm و2.8cm می باشد.	**گام دوم)** کنترل عرض تیر با توجه به ضوابط مربوط به فواصل میلگردها و پوشش آرماتورها، عرض تیر کنترل می‌شود. حداقل فاصله آزاد بین میلگردها، بزرگترین سه مقدار زیر است: – قطر میلگرد بزرگتر – ۲۵ میلیمتر – ۱/۳۳ برابر قطر بزرگترین سنگدانه b_{min} =۲×(قطر خاموت+ضخامت پوشش) $+ N.d_b + (N-1)\ b_l$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		در فرمول فوق N تعداد میلگردها و b1 فاصله آزاد بین آنها است. در شرایط محیطی شدید، حداقل ضخامت پوشش تیرها برابر ۵ سانتیمتر می‌باشد.	۲-۹-۲-۸
	برای 5Φ22 داریم : $b_{min} = 2\,(5+1.2)+5x2.2+4x2.66$ $b_{min} = 34.04 > 30$ cm بنابراین نمی‌توان از 5Φ22 استفاده نمود. برای 3Φ28 داریم: $b_{min} = 2\,(5+1.2)+3x2.8+2x2.8$ $b_{min} = 26.4 < 30$ cm O.K. بنابراین 3Φ28 قابل قبول است.		
		گام سوم) کنترل ترک‌خوردگی	
	$d_c = 5+1.2+\frac{1}{2} \times 2.8 = 7.6$cm		
	$A = \frac{b.(2d_c)}{n} = \frac{300 \times 2 \times 76}{3}$ $A = 15200$ mm^2	d_c =ضخامت پوشش + قطر خاموت + $\frac{1}{2}$ d_b	۲-۹-۲-۸
	$f_s = 0.6 \times 400 = 240$ Mpa	$A = \frac{\text{سطح مقطع موثر کششی}}{\text{تعداد میلگردها}}$	
	$W = 13 \times 10^{-6} \times 240 \times \sqrt[3]{76 \times 15200}$ $W = 0.33$ mm < 0.35 O.K.	$f_s = 0.6\, f_y$	۲-۲-۳-۱۴
	فرض شده است که تیر در نما دیده می‌شود.	$W = 13 \times 10^{-6} \times f_s \sqrt[3]{d_c.A}$	۱-۲-۳-۱۴ ۱-۳-۳-۱۴
	با توجه به ضوابط مربوط به فواصل میلگردها و پوشش آرماتورها، که در قسمت الف کنترل شده است، از 3Φ28 استفاده می‌کنیم	**ب: استفاده از جداول** **گام اول)** انتخاب میلگردها و کنترل عرض ترک‌خوردگی با استفاده از جدول آرماتورگذاری ۳	

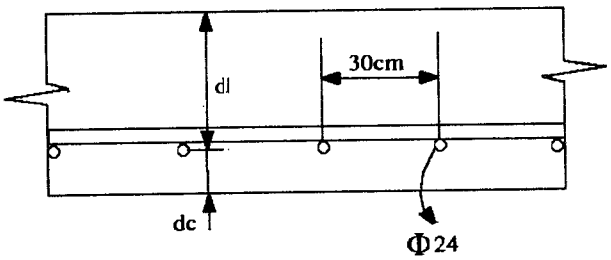
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
آرماتورگذاری ۳	$d_c = 5 + 1.2 + \frac{1}{2} \times 2.8 = 7.6cm$ برای $W= 0.35$, $f_y = 400Mpa$, $d_c =76mm$ داریم: $A = 18588\ mm^2$ $t = 2 \times 76 = 152\ mm$ $b_{wmax} = \frac{18588 \times 3}{152} = 337\ mm$ و یا : $b_{wmax} = 33.7\ cm > b_w$ O.K.	$d_c =$ قطر خاموت + ضخامت پوشش $+ \frac{1}{2} d_b$ چون آرماتورگذاری در یک لایه انجام شده است داریم : $t = 2d_c$ $b_{wmax} = \frac{A.n}{t}$	۲-۳-۱۴
آرماتورگذاری ۴	برای$\Phi 28$و$W=0.35$ و یک لایه میلگرد $f_y=400Mpa$ داریم: $\frac{b_{w\ max}}{n} = 148\ .26\ mm$ و یا : $b_{wmax} = 3 \times 148.26 = 444.78\ mm$ و یا : $b_{wmax} = 44.5\ cm > b_w$ O.K. علت اختلاف جواب b_{wmax} این گام و گام اول بخاطر این است که در اینجا مقدار d_c برابر عبارت زیر فرض شده است: $d_c = 55 + \frac{1}{2} d_b$ بعلت تقریبی بودن رابطه فوق، جوابهای بدست آمده از این جدول چندان دقیق نمی‌باشند.	**گام دوم)** انتخاب میلگردها و کنترل عرض تـرک‌خـوردگی با استفاده از جدول آرماتورگذاری ۴	

مثال ۲ **کنترل ضوابط مربوط به فواصل میلگردها و پوشش آرماتورها و عرض ترک‌خوردگی، در یک دال یک طرفه**

در دال شکل شکل زیر نشان دهید که حداکثر فواصل مجاز بین آرماتور رعایت شده است و عرض ترک‌خوردگی نیز قابل قبول می‌باشد. شرایط محیطی متوسط است.

: مشخصات

$f_c = 30$ Mpa
$f_y = 400$ Mpa
h = 18 cm



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف: با استفاده از روش تحلیلی	
	$2 = 2 \times 18 = 36 > 30$ cm O.K. همچنین: $35 > 30$ cm بنابراین ضابطه مربوط به حداکثر فواصل مجاز بین آرماتورها رعایت شده است.	**گام اول)** کنترل فواصل بین آرماتورها فاصله بین میلگردها خمشی نباید از ۲ برابر ضخامت دال و ۳۵ سانتیمتر بیشتر باشد.	۸-۲-۶-۶
		گام دوم)	
	$d_c = 3+1.2+\frac{1}{2} \times 2.4 = 4.2$ cm	d_c = ضخامت پوشش + قطر خاموت + $\frac{1}{2}$ d_b عرض ۳۰ سانتیمتر از دال (فاصله بین دو میلگرد) را کنترل می‌کنیم.	۸-۲-۹-۲
	$A = \frac{b_1(2d_c)}{n} = \frac{300 \times 2 \times 42}{3}$ $A = 25200$ mm^2	$A = \frac{\text{سطح مقطع موثر کششی}}{\text{تعداد میلگردها}}$	
	$f_s = 0.6 \times 400 = 240$ Mpa	$f_s = 0.6\, f_y$	۱۴-۳-۲-۲
	$W = 13 \times 10^{-6} \times 240 \times \sqrt[3]{42 \times 25200}$ $W = 0.32$ mm < 0.35 O.K.	$W = 13 \times 10^{-6} \times f_s \sqrt[3]{d_c . A}$	۱۴-۳-۲-۱
	فرض شده است که تیر در نما دیده می‌شود.		۱۴-۳-۳-۱

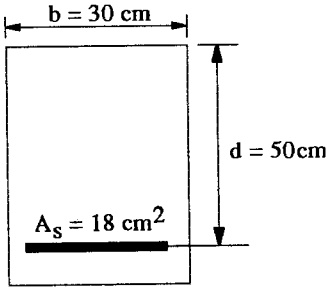
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		ب : با استفاده از جداول **گام اول) شبیه قسمت الف است.** **گام دوم) کنترل عرض ترک‌خوردگی**	
	$d_c = 3 + 1.2 + \frac{1}{2} \times 2.4 = 4.2$ cm برای $W = 0.35$, $f_y = 400$Mpa , $d_c = 42$mm داریم:	$d_c =$ ضخامت پوشش + قطر خاموت + $\frac{1}{2} d_b$	۲-۹-۲-۸
	$A = 33724$ mm^2 $t = 2 \times 42 = 84$ mm	$t = 2 \times d_c$	
	$bw_{max} = \frac{33724}{84} = 401.5$ mm و یا : $bw_{max} = 40.15$ cm > 30 O.K.	$S_{max} = \frac{bw_{max}}{n} = \frac{A}{t}$	

مثال ۳ آرماتورگذاری در دو لایه، برای تیر مستطیل شکل، تحت اثر خمش ساده، با توجه به ضوابطی مربوط به فواصل میلگردها و پوشش آرماتورها و عرض ترک‌خوردگی

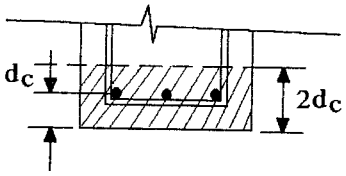
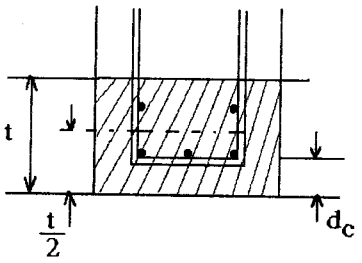
تیر شکل زیر را آرماتورگذاری کنید. شرایط محیطی شدید، و خاموتهای مصرفی از نوع 12 Φ می‌باشند.

مشخصات :

$f_c = 30$ Mpa
$f_y = 400$ Mpa
$b = 30$ cm
قطر بزرگترین سنگدانه $= 2$ cm



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
آرماتورگذاری ۲	با توجه به اینکه $A_s=12cm^2$ می‌باشد، از $2\Phi28(A_s=12.32cm^2)$ و یا $(A_s = 12.72\ cm^2)$ $5\Phi18$ استفاده می‌کنیم.	**الف: با استفاده از روش تحلیلی** **گام اول) انتخاب میلگردها** انتخاب میلگردها با توجه به مقدار A_s میلگردها را انتخاب می‌کنیم.	
	برای $\Phi18$ و $\Phi28$ به ترتیب حداقل فاصله آزاد بین میلگردها برابر 2.66cm و 2.8cm می باشد.	**گام دوم) کنترل عرض تیر** با توجه به ضوابط مربوط به فواصل میلگردها و پوشش آرماتورها، عرض تیر کنترل می‌شود. حداقل فاصله آزاد بین میلگردها، بزرگترین سه مقدار زیر است: - قطر میلگرد بزرگتر - ۲۵ میلیمتر - ۱/۳۳ برابر قطر بزرگترین سنگدانه b_{min} =۲×(قطر خاموت+ضخامت پوشش) $+ N.d_b + (N-1)\ b_1$	۱-۶-۲-۸

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	برای 5Φ22 داریم : $b_{min} = 2\,(5 + 1.2) + 2 \times 2.8 + 1 \times 2.8$ $b_{min} = 20.8 < 30$ cm O.K. بنابراین 5Φ18 با فرض قراردادن آنها در دو لایه داریم: $b_{min} = 2\,(5 + 1.2\,) + 3 \times 1.8 + 2 \times 2.66$ $b_{min} = 23.12 < 30$ cm O.K.	در فرمول فوق N تعداد میلگردها و b_1 فاصله آزاد بین آنها است. در شرایط محیطی شدید، حداقل ضخامت پوشش تیرها برابر ۵ سانتیمتر می‌باشد.	۲-۹-۲-۸
	 $d_c = 5+1.2+\frac{1}{2} \times 2.8 = 7.6$cm $A = \frac{b.(2d_c)}{n} = \frac{300 \times 2 \times 76}{3}$ $A = 22800$ mm^2 $f_s = 0.6 \times 400 = 240$ Mpa $W = 13 \times 10^{-6} \times 240 \times \sqrt[3]{76 \times 22800}$ $W = 0.37$ mm < 0.35 O.K. برای 2Φ28 قابل قبول نیست :  $d_c = 5+1.2+\frac{1}{2} \times 1.8 = 7.1$ cm	**گام سوم) کنترل ترک‌خوردگی** برای 2Φ28 داریم : d_c = ضخامت پوشش + قطر خاموت + $\frac{1}{2}$ d_b $A = \frac{\text{سطح مقطع موثر کششی}}{\text{تعداد میلگردها}}$ $f_s = 0.6\, f_y$ $W = 13 \times 10^{-6} \times f_s \sqrt[3]{d_c.A}$ برای 5Φ22 داریم : فاصله آزاد بین دو ردیف آرماتور نباید از ۲/۵ سانتیمتر و قطر بزرگترین میلگرد کمتر باشد.	۲-۲-۳-۱۴ ۱-۲-۳-۱۴ ۱-۳-۳-۱۴ ۲-۶-۲-۸

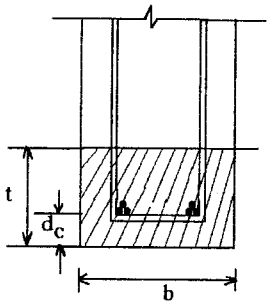
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	فاصله آزاد بین دو ردیف آرماتور را برابر ۳/۲ سانتیمتر در نظر می‌گیریم. بنابراین فاصله محور تا محور دو ردیف آرماتور برابر ۵ سانتیمتر می‌باشد. $\frac{t}{2}=\frac{3\times 7.1+2\times 12.1}{5}=9.1cm$ $A=\frac{b.t}{n}=\frac{300\times 2\times 91}{5}$ $A=10920\ \ mm^2$ $f_s=0.6\times 400=240\ Mpa$ $W=13\times 10^{-6}\times 240\times \sqrt[3]{71\times 10920}$ $W=0.29\ mm<0.35$ O.K.	$\frac{t}{2}=\frac{N_1\times d_c+N_2\times(d_c+d_1)}{N_1+N_2}$ در فرمول فوق N_1 و N_2 به ترتیب تعداد میلگردهای ردیف اول و دوم، و d_1 فاصله محور تا محور دو ردیف آرماتور می‌باشد. $A=\frac{\text{سطح مقطع موثر کششی}}{\text{تعداد میلگردها}}$ $f_s=0.6\ f_y$ $W=13\times 10^{-6}\times f_s\sqrt[3]{d_c.A}$	۲-۲-۳-۱۴ ۱-۲-۳-۱۴ ۱-۳-۳-۱۴
	برای $W=0.35$, $f_y=400Mpa$, $d_c=76mm$ داریم: $A=18588\ mm^2$ $t=2\times 76=152\ mm$ $b_{wmax}=\frac{18588\times 2}{152}=245\ mm$ و یا : $b_{wmax}=24.5\ cm<30$ O.K. بنابراین 2Φ28 قابل قبول نیست. برای $W=0.35$, $f_y=400Mpa$, $d_c=71mm$ داریم: $A=19898\ mm^2$ $b_{wmax}=\frac{19898\times 5}{182}=547\ mm$ و یا : $b_{wmax}=54.7\ cm<30$ O.K.	**ب: با استفاده از جداول** گام‌های اول و دوم شبیه قسمت الف می‌باشند. **گام سوم) کنترل عرض ترک‌خوردگی** $d_c=$ ضخامت پوشش + قطر خاموت $+\frac{1}{2}d_b$ چون آرماتورگذاری در یک لایه انجام شده است داریم : $t=2d_c$ $b_{wmax}=\frac{A.n}{t}$ برای 5Φ22 داریم : dc و t در قسمت الف محاسبه شده‌اند. $b_{wmax}=\frac{A.n}{t}$	۲-۳-۱۴ ۲-۳-۱۴

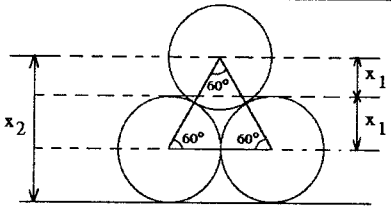
مثال ۴ **تعیین حداکثر عرض برای تیر دارای گروه میلگردهای در تماس، با توجه به ضوابط عرض ترک‌خوردگی**

در تیر شکل زیر، حداکثر عرض مجاز را با توجه به ضوابط ترک‌خوردگی تعین کنید. شرایط محیطی متوسط، و خاموتهای مصرفی از نوع Φ12 می‌باشند. در آرماتورگذاری، میلگردهای Φ24 به صورت دو گروه سه تایی مصرف شده‌اند.

مشخصات :

$f_y = 400$ Mpa



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	 $x_1 = R \sin 60$ $x_2 = 2x_1 + R$ با قرارداد دادن x_1 در x_2 داریم: $x_2 = R\,(2\sin 60 + 1)$ $x_{ave} = \frac{2 \times R + R(2\sin 60 + 1)}{3}$ و یا : $x_{ave} = R\,(1 + \frac{\sqrt{3}}{3})$ برای Φ24 داریم: $x_{ave} = 1.2\,(1 + \frac{\sqrt{3}}{3}) = 1.89$ cm	**الف: با استفاده از روش تحلیلی** **گام اول)** محاسبه فاصله مرکز گـروه میلگردهـا از انتهـای تحتانی آنها. برای محاسـبه فاصـله مرکـز گـروه میلگردهـا از انتهای تحتانی آنهـا، بایـد از گشـتاور اول سـطح استفاده نمود. یعنی : $x_{ave} = \frac{\sum A_i . x_i}{\sum A}$	
	$d_c = 4.5+1.2+1.89 = 7.59$cm $t = 2 \times 7.59 = 15.18$ cm	**گام دوم)** محاسبه حداکثر عرض مجاز تیر با توجه به ضوابط ترک‌خوردگی d_c = ضخامت پوشش + قطر خاموت + x_{ave} $t = 2 \times d_c$ $A = \frac{\text{سطح مقطع موثر کششی}}{\text{تعداد میلگردها}}$	۲-۹-۲-۸

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		هنگامی که میلگردها بصورت گروهی بکار می‌روند، سطح محاط شده در بتن کمتری دارند. بنابراین تنش پیوستگی بیشتر و ترکها بازتر می‌شوند. برای این منظور آقای *Nawy پیشنهاد می‌کند که مقدار N در فرمول $A=b.t_N$ در K ضرب شود. مقدار K با توجه به تعداد میلگردهای موجود در گروه، در زیر آمده است. K = 0.815 : برای گروه دارای ۲ میلگرد K = 0.650 : برای گروه دارای ۳ میلگرد K = 0.570 : برای گروه دارای ۴ میلگرد	
	$A = \frac{b.t}{n.k} = \frac{b \times 151.8}{6 \times 0.65}$ $A = 38.92b\ mm^2$ $f_s = 0.6 \times 400 = 240\ Mpa$ $0.35 = 13 \times 10^{-6} \times 240 \times \sqrt[3]{75.9 \times 38.92b}$ بنابراین : $b = 478\ mm$ و یا : $b_{max} = 47.8\ cm$	$f_s = 0.6\ f_y$ $W = 13 \times 10^{-6} \times f_s \sqrt[3]{d_c.A}$	۲-۲-۳-۱۴ ۱-۲-۳-۱۴ ۱-۳-۳-۱۴
آرماتورگذاری ۵	برای Φ24 و سه عدد میلگرد در هر گروه و $W = 0.35$ داریم : $f_y = 400\ Mpa$ $\frac{b_w}{n} = 251.94$ برای دو گروه میلگرد داریم: $bw_{max} = 251.94 \times 2 = 503.88mm$ و یا : $bw_{max} = 50.4\ cm$ بعلت اینکه d_c در نظر گرفته شده در جدول دقیق نیست، جوابهای این روش و روش تحلیلی بر هم منطبق نمی‌باشند.	**ب: با استفاده از جداول** **گام اول)** محاسبه حداکثر عرض مجاز تیر با توجه به ضوابط ترک‌خوردگی	

* Edward G.Nawy , "Crack Control in Beams Reinforced with Bundled Bars Useing ACI 318-71," ACI Journal, Proceedings V.69 ,No.10 , Oct. 1972, pp. 637-639.

مثال ۵ طول مهاری میلگرد مستقیم و قلاب‌دار در کشش

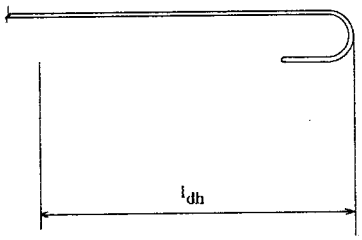
طول مهاری مستقیم و قلاب‌دار میلگرد Φ20 را در کشش بدست آورید. فاصله محور تا محور میلگردها ۱۵ سانتیمتر است.

مشخصات :

$f_c = 20$ Mpa

$f_y = 300$ Mpa

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف: با استفاده از روش تحلیلی	
		گام اول) محاسبه طول مهاری میلگرد مستقیم	
	$f_{bd} = 0.65 \times \sqrt{20} = 2.91$ Mpa	$f_{bd} = 0.65 \sqrt{f_c}$	معادله ۱۸-۴ ۱۸-۲-۲-۱
	$\lambda_1 = 1$		
	$\lambda_2 = 0.85$		۱۸-۲-۲-۵ الف
	$f_b = 1 \times 0.85 \times 2.91 = 2.47$ Mpa	$f_b = \lambda_1 \cdot \lambda_2 f_{bd}$	معادله ۱۸-۳
	$l_{db} = \frac{2 \times 300}{4 \times 2.47} = 60.72$ cm	$\ell_{db} = \frac{d_b . f_y}{4 f_b}$	معادله ۱۸-۲
	$k_1 = 1$		۱۸-۲-۲-۱ الف
	$k_2 = 1$		۱۸-۲-۲-۱ ب
	$k_3 = 1$		۱۸-۲-۲-۱ پ
	$\ell_d = 1 \times 1 \times 1 \times 60.72 = 60.72$ cm	$\ell_d = k_1 . k_2 . k_3 . l_{db}$	معادله ۱۸-۱
	اگر میلگرد مورد نظر فوقانی باشد داریم:	برای میلگردهای فوقانی که حداقل ۳۰ سانتیمتر بتن تازه در زیر آنها قرار می‌گیرد، مقدار k_1 برابر ۱/۳ است.	۱۸-۱۲-۲-۲ الف
	$\ell_d = 1.3 \times 60.72 = 78.9$ cm		
		گام دوم) محاسبه‌طول‌مهاری میلگرد قلاب‌دار	
	با توجه به گام اول داریم:		
	$f_b = 1.5 \times 2.91 = 4.365$ Mpa	$f_b = 1.5 f_{bm}$	۱۸-۵-۲-۲
	$\ell_{dhb} = \frac{2 \times 300}{4 \times 4.365} = 34.4$ cm	$\ell_{dhb} = \frac{d_b . f_y}{4 f_b}$	معادله ۱۸-۲
	$\beta_1 = 1$		۱۸-۵-۲-۳
	$\beta_2 = 1$		۱۸-۵-۲-۴

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$\beta_3 = 1$ $\ell_{dh} = 1 \times 1 \times 1 \times 34.4$ $\ell_{dh} = 34.4$ cm اگر میلگرد مورد نظر فوقانی باشد، تغییری در مقدار ℓ_{dh} ایجاد نمی‌شود.	$\ell_{dh} = \beta_1 . \beta_2 . \beta_3 . l_{dhb}$ تـذکر: منظـور از l_{dh} مجمـوع طـول مسـتقیم میلگرد و شعاع قلاب و قطر میلگرد می‌باشد. یعنی:  	۵-۵-۲-۱۸ معادله ۱۸-۹ ۳-۱-۲-۱۸
آرماتورگذاری ۷-۱	برای Φ20ç fy = 300Mpa, fc =20Mpa داریم : $\ell_d = 60.7$ cm (آرماتور تحتانی) $1.3\ \ell_d = 78.9$ cm (آرماتور فوقانی)	**ب: با استفاده از جداول** **گام اول)** محاسبه‌طول‌مهاری‌میلگردمستقیم	۲-۲-۱۸ ۶ الف-۲-۲-۱۸
آرماتورگذاری ۷-۱	برای Φ20ç fy = 300Mpa, fc =20Mpa داریم: $\ell_{dh} = 34.4$ cm اگر میلگرد مـورد نظـر فوقـانی باشـد تغییـر در ℓ_{dh} ایجـاد نمی‌شود.	**گام دوم)** محاسبه طول مهاری میلگرد قلاب‌دار	۵-۲-۸

مثال ۶ حداکثر قطر میلگرد برای آرماتور خمشی مثبت، در یک تیر دو سر مفصل و تحت اثر بار گسترده یکنواخت

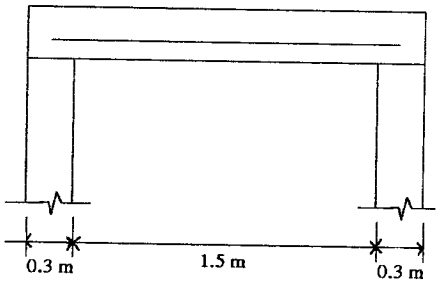
برای تیر دو سر مفصل و تحت اثر بار گسترده شکل زیر، حداکثر قطر مجاز میلگرد را برای لنگر خمشی مثبت، و با توجه بـه رابطـه (۱۸-۱۰) تعیین کنید. انتهای آرماتورها توسط بتن فشاری ناشی از عکس‌العمل فشاری تکیه‌گاه، محصور شـده اسـت. تمـام میلگردهـا از محـل محـور تکیه‌گاه تیر عبور کرده‌اند.

$$l_d \le \frac{M_r}{V_u} + l_a$$

مشخصات :

$f_c = 30$ Mpa

$f_y = 400$ Mpa



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف: با استفاده از روش تحلیلی **گام اول)** محاسبه رابطه $\ell_d \le \frac{M_r}{V_u} + \ell_a$ بر اساس طول دهانه برای این کار M_r را برابر M_u فرض کرده و آنرا بر حسب بار گسترده روی تیر می‌نویسیم. سپس V_u را بر حسب بار گسترده روی تیر بدست آورده و دو عبارت را بر هم تقسیم می‌کنیم.	
	$Mr = \frac{W_u.L^2}{8}$ و : $Vu = \frac{W_u.L}{2}$ بنابراین : $\frac{M_r}{V_u} = \frac{W_u.L^2/8}{W_u.L/2} = \frac{L}{4}$ با جاگذاری در معادله $l_d \le \frac{M_r}{V_u} + \ell_a$ داریم: $\ell_d \le \frac{L}{4} + \ell_a$ و یا : $\frac{L}{4} \ge \ell_d - \ell_a$ بنابراین : $L_{min} = 4(\ell_d - \ell_a)$ برای حالتیکه آرماتورها در بتن فشاری تکیه‌گاهی محصور شده باشند داریم: $L_{min} = \frac{4}{(1+\frac{1}{3})}(\ell_d - \ell_a)$	در تکیه‌گاه‌هایی که آرماتور خمشی مثبت در داخل بتن فشاری ناشی از عکس‌العمل فشاری تکیه‌گاه محصور شده باشد، مقدار $\frac{M_r}{V_u}$ را می‌توان به اندازه $\frac{1}{3}$ افزایش داد.	۱۸-۳-۲-۳

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	و یا : $L_{min} = 3\,(\ell_d - \ell_a)$ در این مثال اگر l_a را برابر صفر فرض کنیم داریم : $L_{min} = 3\ell_d$	برای تکیه‌گاه‌های ساده، در صورتیکه تمام میلگردها از محور تکیه‌گاه عبور کرده باشند، می‌توان l_a را برابر صفر فرض کرد. این فرض در جهت ضریب اطمینان است.	
	$L = 1.5 + 0.15 + 0.15 = 1.8$ m	**گام دوم) محاسبه طول دهانه** در این حالت فاصله مرکز تا مرکز تکیه‌گاه‌ها را محاسبه می‌کنیم.	
	$1.8 = 3\,\ell_d$ و یا : $\ell_d = 0.6$ m	**گام سوم) محاسبه ℓ_d** $L_{min} = 3\,\ell_d$	
	$f_{bd} = 0.65 \times \sqrt{30} = 3.56$ Mpa $\lambda_1 = 1$ $\lambda_2 = 0.85$ $f_b = 1 \times 0.85 \times 3.56 = 3.026$ Mpa $\ell_{db} = \dfrac{d_b \times 400}{4 \times 3.026}$ و یا : $\ell_{db} = 33.04\,d_b$ $k_1 = 1$ $k_2 = 1$ $k_3 = 1$	**گام چهارم) تعیین حداکثر قطر مجاز میلگرد** با فرض اینکه قطر میلگرد مورد نظر کمتر از ۲۰ میلیمتر است داریم: $f_{bd} = 0.65\,\sqrt{f_c}$ $f_b = \lambda_1 \,.\, \lambda_2\, f_{bd}$ $\ell_{db} = \dfrac{d_b . f_y}{4 f_b}$	۱۸-۲-۲-۳ الف معادله ۱۸-۴ ۱۸-۲-۲-۳ ۱۸-۲-۲-۵ معادله ۱۸-۳ معادله ۱۸-۲ ۱۸-۲-۲-۱ الف ۱۸-۲-۲-۱ ب ۱۸-۲-۲-۱ پ

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$\ell_d = 1 \times 1 \times 1 \times 33.04\ d_b$ و یا : $\ell_d = 33.04\ d_b$ با جاگذاری l_d گام سوم در رابطه فوق داریم: $60 = 33.04 \times d_b$ و یا : $d_b = 1.81 < 2\ cm$ O.K. همانطور که ملاحظه می‌شود حداکثر قطر مجاز میلگرد ۱/۸۱ سانتیمتر است. بنابراین: USE Φ 18	$\ell_d = k_1.k_2.k_3.l_{db}$	معادله ۱۸-۱

مثال ۷ حداکثر قطر میلگرد برای آرماتور خمشی مثبت، در یکی از دهانه‌های میانی مربوط به تیر یکسره و تحت اثر بار گسترده یکنواخت

برای یکی از دهانه‌های میانی یک تیر یکسره و تحت اثر بار یکنواخت، حداکثر قطر مجاز میلگرد را برای لنگر خمشی مثبت، و با توجه به رابطه (۱۸-۱۰) تعیین کنید. فاصله مرکز تا مرکز تکیه‌گاه برای ۳/۷ متر است. نصف آرماتورهای مروط به لنگر مثبت وارد تکیه‌گاه شده‌اند.

$$\ell_d \le \frac{M_r}{V_u} + \ell_a$$

: مشخصات

$f_c = 30$ Mpa

$f_y = 400$ Mpa

$d = 25$ cm

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$l_{min} = \frac{4}{0.7}(\ell_d - \ell_a)$ **و یا :** $L_{min} = 5.71\ (\ell_d - \ell_a)$ برای حالتیکه نصف میلگردهای لنگر مثبت از نقطه عطف بگذرند داریم: $L_{min} = 2 \times 5.711\ (\ell_d - \ell_a)$ **و یا :** $L_{min} = 11.42\ (\ell_d - \ell_a)$	**الف: با استفاده از روش تحلیلی** **گام اول)** محاسبه رابطه $\ell_d \le \frac{M_r}{V_u} + \ell_a$ بر اساس طول دهانه در تیرهای پیوسته، **فاصله بین نقطه عطف (لنگر صفر)** و انتهای تیر در **دهانه‌های میانی** برابر $0/15\ell$ فرض می‌شود. بنابراین فاصله بین دو نقطه عطف تیر $0/7\ell$ است. اگر در محاسبات گام اول مثال قبل، بجای ℓ مقدار $0/7\ell$ را قرار دهیم، به رابطه زیر می‌رسیم: بنابراین : $0.7\ \ell_{min} = 4\ (\ell_d - \ell_a)$ این رابطه برای حالتی است که تمام میلگردهای لنگر مثبت یکسره باشند. چون در نقطه عطف،میلگردها توسط بتن فشاری ناشی از عکس‌العمل تکیه‌گاه محصور نشده‌اند، مقدار $\frac{M_r}{V_u}$ را نمی‌توان افزایش داد.	۱۸-۳-۲-۳

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	اگر $\ell_a = d = 0.25$ m باشد داریم: $0.15\ell = 0.15 \times 3.7 = 0.555 > 0.25$ m O.K. $3.7 = 11.42\ (\ell_{d1} - 0.25)$ بنابراین: $\ell_{d1} = 0.57$ m اگر $\ell_a = 12d_b$ باشد داریم: $3.7 = 11.42\ (\ell_{d1} - 12d_b)$ بنابراین: $\ell_{d2} = 0.32 + 12\ d_b$ m	**گام دوم) محاسبه l_d** l_a برابر d و یا $12b_d$، هر کدام بزرگترند، در نظر گرفته می‌شود. طبیعی است که مقدار فوق نباید بزرگتر از ۰/۱۵L (فاصله بین نقطه عطف و مرکز تکیه‌گاه) گردد: $L_{min} = 11.42\ (\ell_d - \ell_a)$	
		گام سوم) تعیین حداکثر قطر مجاز میلگرد با فرض اینکه قطر میلگرد مورد نظر کمتر از ۲۰ میلیمتر است داریم:	۱۸-۲-۲-۳ الف
	$f_{bd} = 0.65 \times \sqrt{30} = 3.56$ Mpa	$f_{bd} = 0.65\ \sqrt{f_c}$	معادله ۱۸-۴
	$\lambda_1 = 1$		۱۸-۲-۲-۳
	$\lambda_2 = 0.85$		۱۸-۲-۲-۶
	$f_b = 1 \times 0.85 \times 3.56 = 3.02$ Mpa	$f_b = \lambda_1 \cdot \lambda_2\ f_{bd}$	معادله ۱۸-۳
	$\ell_{db} = \dfrac{d_b \times 400}{4 \times 3.02}$ و یا : $\ell_{db} = 33.11\ d_b$	$\ell_{db} = \dfrac{d_b . f_y}{4 f_b}$	معادله ۱۸-۲
	$k_1 = 1$ $k_2 = 1$ $k_3 = 1$ $\ell_d = 1 \times 1 \times 1 \times 33.04\ d_b$ و یا : $\ell_d = 33.11\ d_b$	$\ell_d = k_1 . k_2 . k_3 . \ell_{db}$	۱۸-۲-۲-۱ الف ۱۸-۲-۲-۱ ب ۱۸-۲-۲-۱ پ معادله ۱۸-۱

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	با جاگذاری l_d مربوط به گام قبل در رابطه فوق، مقدار d_b بدست می‌آید. اگر $l_d=l_{d1}$ باشد داریم: $57 = 33.11\ d_{b1}$ بنابراین: $d_{b1} = 1.72 < 2$ cm O.K. اگر $l_d=l_{d2}$ باشد داریم: $32 + 12d_{d2} = 33.11\ d_{b2}$ $d_{b2} = 1.51 < 2$ cm O.K. بنابراین: $d = 25$ cm , $12d_{b2} = 18.51$ cm بنابراین: $d > 12\ d_{b2}$ پس : $\ell_a = d = 25 < 0.15\ L$ O.K. در نتیجه: $d_b = d_{b1} = 1.72$ cm یعنی حداکثر قطر مجاز میلگرد 1.72 سانتیمتر است. بنابراین: USE Φ 16	حال d و $12d_{b2}$ را مقایسه می‌کنیم هرکدام بزرگتر باشد، برابر la خواهد بود و d_b بدست آمده از آن، جواب نهایی است.	

مثال ۸ **حداکثر قطر میلگرد برای آرماتور خمشی مثبت، در تیر مربوط به یک قاب خمشی، و تحت اثر بار گسترده یکنواخت**

برای تیر مربوط به قاب خمشی زیر، حداکثر قطر مجاز میلگرد را برای لنگر خمشی مثبت، و با توجه بـه رابطـه (۱۸-۱۰) تعیـین کنیـد. تمـام آرماتوراهی مربوط به لنگر مثبت وارد تکیه‌گاه‌ها شده‌اند.

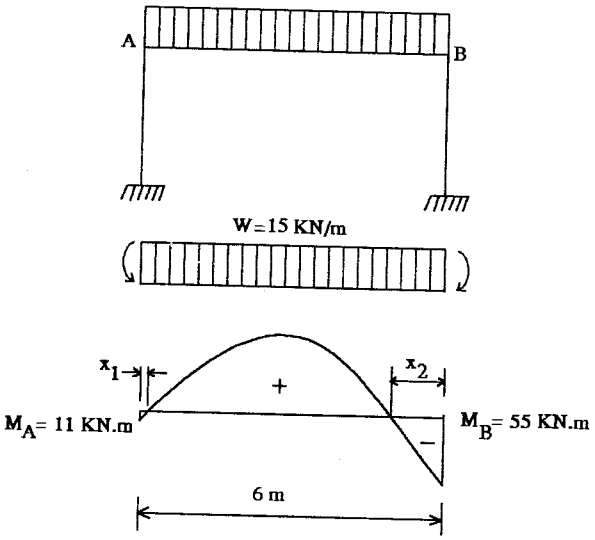
$$\ell_d \le \frac{M_r}{V_u} + \ell_a$$

مشخصات :

$f_c = 30$ Mpa

$f_y = 400$ Mpa

$d = 40$ cm



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		الف: با استفاده از روش تحلیلی **گام اول)** محاسبه رابطه $l_d \le \frac{M_r}{V_u} + l_a$ بر اساس طول دهانه اگر فاصله بین دو نقطه عطف تیر از L_1 بنامیم،با توجه به مثال ۶ داریم: بنابراین : $L_{min} = 4\,(l_d - l_a)$	
	و یا : $V_A = \frac{15\times 6}{2} - \frac{55-11}{6}$ $V_A = 37.67$ KN $x = \frac{37.67}{15} = 2.51$ m $M^+_{MAX} = \frac{37.67^2}{2\times 15} - 11 = 36.3$ KN.m	**گام دوم)** محاسبه x_2 , x_1 , L_1 $V_A = \frac{WL}{2} - \frac{M_B - M_A}{L}$ حال فاصله لنگر خمشی حداکثر را از نقطه A بدست می‌آوریم. $x = \frac{V_A}{W}$ سپس لنگر خمشی حداکثر مثبت را محاسبه می‌کنیم. $M^+_{MAX} = \frac{V_A^2}{2w} - M_A$	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		از طرفی می‌توان M^{+}_{MAX} را بصورت زیر نوشت: $M^{+}_{MAX} = \frac{W.L_1^{\,2}}{8}$ و یا : $L_1 = \sqrt{\frac{M^{+}_{MAX}.8}{W}}$ $x_1 = x - \frac{L_1}{2}$ $x_2 = L - x_1 - L_1$	
	$L_1 = \sqrt{\frac{36.3 \times 8}{15}} = 4.4 \ \ m$ $x_1 = 2.51 - \frac{4.4}{2} = 0.31m$ $x_2 = 6\text{-}0.31\text{-}4.4 = 1.29 \quad m$		
	اگر $L_a = d$ باشد داریم: $\ell_a = 40\ cm > x_1$ بنابراین l_a را برابر x_1 می‌گیریم یعنی : $\ell_a = 31\ m$ $4.4 = 4\ (\ell_d - 0.31)$ بنابراین: $\ell_d = 1.41\ m$	**گام دوم) محاسبه l_d** l_a برابر d و یا $12b_d$، **هر کدام** بزرگترند، در نظر گرفته می‌شود. طبیعی است که **مقدار فوق** نباید بزرگتر از x_1 و x_2 گردد. $L_{min} = 4\ (l_d - l_a)$	۱۸-۳-۲-۳
	$f_{bd} = 0.65 \times \sqrt{30} = 3.56$ Mpa $\lambda_1 = 0.8$ $\lambda_2 = 0.85$ $f_{bi} = 0.8 \times 0.85 \times 3.56 = 2.42$ Mpa	**گام چهارم) تعیین حداکثر قطر مجاز میلگرد** با فرض اینکه قطر میلگرد مورد نظر بیشتر از ۲۰ میلیمتر است داریم: $f_{bd} = 0.65 \sqrt{f_c}$ معادله ۱۸-۴ $f_b = \lambda_1 . \lambda_2 f_{bd}$ معادله ۱۸-۳ با فرض آن که قطر میلگرد مورد نظر از ۲۰میلیمتر بیشتر است. $\lambda_1 = 0.8$ $\lambda_2 = 0.85$ $f_b = \lambda_1 . \lambda_2 f_{bd}$ معادله ۱۸-۳	۱۸-۲-۲-۳ الف ۱۸-۲-۲-۳ ۱۸-۲-۲-۵

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$\ell_{db} = \frac{d_b \times 400}{4 \times 2.42}$ $\ell_{db} = 41.3\ d_b$ و یا : $k_1 = 1$ $k_2 = 1$ $k_3 = 1$ $l_d = 1 \times 1 \times 1 \times 41.3\ d_b$ $l_d = 41.3\ d_b$ و یا : با جاگذاری l_d مربوط به گام قبل در فرمول فوق داریم: $141 = 41.3\ d_b$ بنابراین: $d_b = 3.4 > 2.5$ cm O.K. یعنی حداکثر قطر مجاز میلگرد 3.4 سانتیمتر است.	$\ell_{db} = \frac{d_b . f_y}{4 f_b}$ $\ell_d = k_1 . k_2 . k_3 . \ell_{db}$	معادله ۱۸-۲ ۱۸-۲-۲-۱ الف ۱۸-۲-۲-۱ ب ۱۸-۲-۲-۱ پ معادله ۱۸-۱
	$4.4 = 3\ d_b \rightarrow \ell_d = 1.47$ m $147 = 41.3\ d_b$ و یا : $d_b = 3.55$ همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار فوق بیشتر از مقدار بدست آمده در گام چهارم است. بنابراین از جواب بدست آمده در گام چهارم استفاده می‌شود یعنی: $d_{bmax} = 3.4$ cm	**گام پنجم) محاسبه l_d و d_b با فرض محصور شدن آرماتورهای خمشی مثبت، در داخل بتن فشاری .** **با ادامه دادن آرماتورهای خمشی مثبت تا مرکز تکیه‌گاه‌ها، می‌توان فرض کرد که آنها در داخل** بتن فشاری ناشی از عکس‌العمل فشاری تکیه‌گاه، محصور شده‌اند. بنابراین می‌توان $\frac{M_r}{V_u}$ را به اندازه $\frac{1}{3}$ افزایش داد. پس با توجه به مثال ۶ داریم: $L_{min} = 6\ (\ell_d - \ell_a)$ و با صفر قراردادن مقدار la خواهیم داشت: $L_{min} = 3\ \ell_d$ با فرض Lmin = L1 داریم: $L_1 = 3\ \ell_d$ با توجه به گام چهارم داریم: $\ell_d = 49.56\ d_b$	۱۸-۳-۲-۳

آرماتورگذاری ۱) سطح مقطع و وزن واحد طول میلگردها

ϕ (mm)	A_s , cm^2	kg/m
۶	۰/۲۸	۰/۲۲۲
۸	۰/۵۰	۰/۳۹۵
۱۰	۰/۷۹	۰/۶۱۷
۱۲	۱/۱۳	۰/۸۸۸
۱۴	۱/۵۴	۱/۲۰۸
۱۶	۲/۰۱	۱/۵۷۸
۱۸	۲/۵۴	۱/۹۹۸
۲۰	۳/۱۴	۲/۴۶۶
۲۲	۳/۸۰	۲/۹۸۴
۲۴	۴/۵۲	۳/۵۵۱
۲۶	۵/۳۱	۴/۱۶۸
۲۸	۶/۱۶	۴/۸۳۴
۳۰	۷/۰۷	۵/۵۴۹
۳۲	۸/۰۲	۶/۳۱۳
۳۴	۹/۰۸	۷/۱۲۷
۳۶	۱۰/۱۸	۷/۹۹۰
۳۸	۱۱/۳۴	۸/۹۰۳
۴۰	۱۲/۵۷	۹/۸۶۵

آرماتورگذاری ۲) سطح مقطع میلگردها با در نظر گرفتن تعداد آنها

ϕ (mm)	تعداد میلگردها														
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۶	۰/۲۸	۰/۵۷	۰/۸۵	۱/۱۳	۱/۴۱	۱/۷۰	۱/۹۸	۲/۲۶	۲/۵۴	۲/۸۳	۳/۱۱	۳/۳۹	۳/۶۸	۳/۹۶	۴/۲۴
۸	۰/۵۰	۱/۰۱	۱/۵۴	۲/۰۱	۲/۵۱	۳/۰۲	۳/۵۲	۴/۰۲	۴/۵۲	۵/۰۳	۵/۵۳	۶/۰۳	۶/۵۳	۷/۰۴	۷/۵۴
۱۰	۰/۷۹	۵۷/۱	۲/۳۶	۳/۱۴	۳/۹۳	۴/۷۱	۵/۵۰	۶/۲۸	۷/۰۷	۷/۸۵	۸/۶۴	۹/۴۲	۱۰/۲۱	۱۱/۰۰	۱۱/۷۸
۱۲	۱/۱۳	۲/۲۶	۳/۳۹	۴/۵۲	۵/۶۵	۶/۷۹	۷/۹۲	۹/۰۵	۱۰/۱۸	۱۱/۳۱	۱۲/۴۴	۱۳/۵۷	۱۴/۷۰	۱۵/۸۳	۱۶/۹۶
۱۴	۱/۵۴	۳/۰۸	۴/۶۲	۶/۱۶	۷/۷۰	۹/۲۴	۱۰/۷۸	۱۲/۳۲	۱۳/۸۵	۱۵/۳۹	۱۶/۹۳	۱۸/۴۷	۲۰/۰۱	۲۱/۵۵	۲۳/۰۹
۱۶	۲/۰۱	۴/۰۲	۶/۰۳	۸/۰۴	۰۵/۱۰	۱۲/۰۶	۱۴/۰۷	۱۶/۰۸	۱۸/۱۰	۲۰/۱۱	۲۲/۱۲	۲۴/۱۳	۲۶/۱۴	۲۸/۲۵	۳۰/۱۶
۱۸	۲/۵۴	۵/۰۹	۷/۶۳	۱۰/۱۸	۱۲/۷۲	۱۵/۲۷	۱۷/۸۱	۲۰/۳۶	۲۲/۹۰	۲۵/۴۵	۲۷/۹۹	۳۰/۵۴	۰۸/۳۳	۳۵/۶۳	۷/۳۸
۲۰	۳/۱۴	۶/۲۸	۹/۴۲	۲۲/۵۷	۱۵/۷۱	۱۸/۸۵	۲۱/۹۰	۲۵/۱۳	۲۸/۲۷	۳۱/۴۲	۳۴/۵۶	۳۷/۷۰	۸۴/۴۰	۴۳/۹۸	۴۷/۱۲
۲۲	۳/۸۰	۷/۶۰	۱۱/۴۰	۱۵/۲۱	۱۹/۰۱	۲۲/۸۱	۲۶/۶۱	۳۰/۴۱	۳۴/۲۱	۳۸/۰۱	۴۱/۳۱	۴۵/۶۲	۴۲/۴۹	۵۳/۲۲	۵۷/۰۲
۲۴	۴/۵۲	۵/۰۹	۱۳/۵۷	۱۸/۱۰	۲۲/۶۲	۲۷/۱۴	۳۱/۶۷	۳۶/۱۹	۴۰/۷۱	۴۵/۲	۴۹/۷۶	۵۴/۲۹	۸۱/۵۸	۶۳/۳۳	۶۷/۸۶
۲۶	۵/۳۱	۱۰/۶۲	۱۵/۹۳	۲۱/۲۴	۲۶/۵۵	۳۱/۸۶	۳۷/۱۷	۴۲/۴۷	۴۷/۷۸	۵۳/۰۹	۵۸/۴۰	۶۳/۷۱	۰۲/۶۹	۷۴/۳۳	۷۹/۶۴
۲۸	۶/۱۶	۱۲/۳۲	۴۷/۱۸	۲۴/۶۳	۳۰/۷۹	۳۶/۹۵	۴۳/۱۰	۴۹/۲۷	۵۵/۴۲	۶۱/۵۸	۶۷/۷۳	۷۳/۸۹	۰۵/۸۰	۸۶/۲۱	۹۲/۳۶
۳۰	۷/۰۷	۱۴/۱۴	۲۱/۲۱	۲۷/۲۸	۳۵/۳۴	۴۲/۴۱	۴۹/۴۸	۵۶/۵۶	۶۳/۶۲	۷۰/۶۹	۷۷/۷۵	۸۴/۸۲	۸۹/۹۱	۹۸/۹۶	۱۰۶/۰۳
۳۲	۸/۰۴	۱۶/۰۸	۲۴/۱۳	۳۲/۱۷	۴۰/۲۱	۴۸/۲۵	۵۶/۳۰	۳۴/۶۴	۷۲/۳۸	۸۰/۴۲	۸۸/۴۷	۹۶/۵۱	۱۰۴/۵۵	۱۱۲/۵۹	۱۲۰/۶۴
۳۴	۹/۰۸	۱۸/۱۶	۲۷/۲۴	۳۶/۳۲	۴۵/۴۰	۵۴/۴۸	۶۳/۵۵	۷۲/۶۳	۸۱/۷۱	۹۰/۷۹	۹۹/۸۷	۱۰۸/۹۵	۱۱۸/۰۳	۱۲۷/۱۱	۱۳۶/۱۹
۳۶	۱۰/۱۸	۲۰/۳۶	۳۰/۵۴	۴۰/۷۲	۵۰/۸۹	۶۱/۰۷	۷۱/۲۵	۸۱/۴۳	۹۱/۶۱	۱۰۱/۷۹	۱۱۱/۹۷	۱۲۲/۱۵	۱۳۲/۳۲	۱۴۲/۵۰	۱۵۲/۶۸
۳۸	۱۱/۳۴	۲۲/۶۸	۳۴/۰۲	۴۵/۳۶	۵۶/۷۱	۶۸/۰۵	۷۹/۳۹	۹۰/۷۳	۱۰۲/۰۷	۱۱۳/۴۱	۱۱۴/۷۵	۱۳۶/۰۹	۱۴۷/۴۳	۱۵۷/۷۸	۱۷۰/۱۲

آرماتورگذاری ۳) حداکثر مقدار A برای یک میلگرد به مقدار کنترل ترک در تیرها و دالها

مراجع، بندها ۱۴-۳-۲ و ۱۴-۳-۳ از آیین‌نامه بتن ایران

$$A_{max} = \frac{1}{d_c}\left(\frac{W}{13\times10^{-6}\times f_s}\right)^3$$

$$f_s = 0.6 f_y \quad , \quad b_{w\,max} = \frac{A_{max}\, n}{t})$$

dc (mm)	f_s = 300 MPa		f_s = 400 MPa	
	W = 0.35	W = 0.4	W = 0.35	W = 0.4
۲۵	۱۳۳۸۴۹	۱۹۹۷۹۹	۵۶۴۶۸	۸۴۲۹۰
۳۰	۱۱۱۵۴۱	۱۶۶۴۹۹	۴۷۰۵۶	۷۰۲۴۲
۳۵	۹۵۶۰۷	۱۴۲۷۱۳	۴۰۳۳۴	۶۰۲۰۷
۴۰	۸۳۶۵۶	۱۲۴۸۱۴	۳۵۲۹۲	۵۲۶۸۱
۴۵	۷۴۳۷۱	۱۱۰۹۹۹	۳۱۳۷۱	۴۶۸۲۸
۵۰	۶۶۹۱۵	۹۹۸۹۹	۲۸۲۳۴	۴۲۱۴۵
۵۵	۶۰۸۴۱	۹۰۸۱۸	۲۵۶۶۷	۳۸۳۱۴
۶۰	۵۵۷۷۱	۸۳۲۴۹	۲۳۵۲۸	۳۵۱۲۱
۶۵	۵۱۴۸۱	۷۶۸۴۶	۲۱۷۱۸	۳۲۴۱۹
۷۰	۴۷۸۰۳	۷۱۳۵۷	۲۰۱۶۷	۳۰۱۰۴
۷۵	۴۴۶۱۶	۶۶۶۰۰	۱۸۸۲۳	۲۸۰۹۷
۸۰	۴۱۸۲۸	۶۱۴۳۷	۱۷۶۴۶	۲۶۳۴۱
۸۵	۳۹۳۶۷	۵۸۷۶۴	۱۶۶۰۸	۲۴۷۹۱
۹۰	۳۷۱۸۰	۵۵۵۰۰	۱۵۶۸۵	۲۳۴۱۴
۹۵	۳۵۲۲۴	۵۲۵۱۱۹	۱۴۸۶۰	۲۲۱۸۲
۱۰۰	۳۳۴۶۲	۴۹۹۷۰	۱۴۱۱۷	۲۱۰۷۳
۱۰۵	۳۱۸۶۹	۴۷۵۱۱	۱۳۴۴۵	۲۰۰۶۹
۱۱۰	۳۰۴۲۰	۴۵۴۰۹	۱۲۸۳۴	۱۹۱۵۷
۱۱۵	۲۹۰۹۸	۴۳۴۳۴	۱۲۲۷۶	۱۸۳۲۴
۱۱۰	۲۷۸۸۵	۴۱۶۲۵	۱۱۷۶۴	۱۷۵۶۰
۱۱۵	۲۶۷۷۰	۳۹۹۴۰	۱۱۲۹۴	۱۶۸۵۸

آرماتورگذاری ۴) نسبت حداکثر عرض تیر به تعداد میلگردهای کششی تیرها و دال‌ها که به صورت تکی بکار رفته‌اند (به منظور کنترل ترک‌خوردگی)

مراجع، بندهای ۸-۳-۶ و ۸-۳-۹ و ۱۴-۳-۲ و ۱۴-۳-۳ از آیین‌نامه بتن ایران

برای میلگردهایی که در یک لایه قرار گرفته‌اند.

$$\frac{b_{w\,max}}{n}=\left(\frac{\left(\frac{W}{13\times10^{-6}\times f_s}\right)^3}{2d_c^2}\right)$$

برای میلگردهایی که در دو لایه قرار گرفته‌اند.

$$\frac{b_{w\,max}}{n}=\frac{\left(\frac{W}{13\times10^{-6}\times f_s}\right)^3}{d_c(140+2d_b)}$$

برای میلگردهایی که در سه لایه قرار گرفته‌اند.

$$\frac{b_{w\,max}}{n}=\frac{\left(\frac{W}{13\times10^{-6}\times f_s}\right)^3}{d_c(170+3d_b)}$$

$$f_s=0.6f_y \quad , \quad d_c=55+\frac{1}{2}d_b$$

b_{wmax}/n , mm

w	تعداد لایه‌ها	f_y MPa	قطر میلگرد (mm) ۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۲۴	۲۶	۲۸	۳۰	۳۲	۳۴	۳۶	۳۸	۴۰
w=0/4	۱	۳۰۰	۶۹۳/۷۵	۶۷۱/۱۹	۶۴۹/۷۱	۶۲۹/۲۵	۶۰۹/۷۴	۵۹۱/۱۲	۵۷۳/۳۴	۵۵۶/۳۶	۵۴۰/۱۱	۵۲۴/۵۷	۵۰۹/۶۹	۴۹۵/۴۳	۴۸۱/۷۷	۴۶۸/۶۶	۴۵۱/۰۸	۴۴۴/۰۰
		۴۰۰	۲۹۲/۶۷	۲۸۳/۱۶	۲۷۴/۱۰	۲۶۵/۴۶	۲۵۷/۳۳	۲۴۹/۳۸	۲۴۱/۸۸	۲۳۴/۷۱	۲۲۷/۸۶	۲۲۱/۳	۲۱۵/۰۳	۲۰۹/۰۱	۲۰۳/۲۵	۱۹۷/۲۲	۱۹۵/۴۱	۱۸۷/۳۱
	۲	۳۰۰	۵۲۰/۳۱	۴۹۹/۳	۴۷۹/۵۵	۴۶۰/۹۶	۴۴۳/۴۴	۴۲۶/۹۲	۴۱۱/۳۱	۳۹۱/۵۵	۳۸۲/۵۸	۳۶۹/۳۴	۳۵۶/۷۸	۳۴۴/۸۶	۳۳۳/۵۳	۳۲۲/۷۶	۳۱۴/۵۰	۳۰۲/۷۳
		۴۰۰	۲۱۹/۵۱	۲۱۰/۶۴	۲۰۲/۳۱	۱۹۴/۴۷	۱۸۷/۰۸	۱۸۰/۱۱	۱۷۳/۵۲	۱۶۷/۳۰	۱۶۱/۱۴	۱۵۵/۸۲	۱۵۰/۵۲	۱۴۵/۴۹	۱۴۰/۷۱	۱۳۶/۱۶	۱۳۱/۸۴	۱۲۷/۷۱
	۳	۳۰۰	۴۱۶/۲۵	۳۹۷/۵	۳۸۰/۰۲	۳۶۳/۶۹	۳۴۸/۴۲	۳۳۴/۱۱	۳۲۰/۶۸	۳۰۸/۰۶	۲۹۶/۱۹	۲۸۵/۰۰	۲۷۴/۴۵	۲۶۴/۴۸	۲۵۵/۰۵	۲۴۶/۱۳	۲۳۷/۶۷	۲۲۹/۶۵
		۴۰۰	۱۷۵/۶۰	۱۶۷/۶۹	۱۶۰/۳۲	۱۵۳/۴۴	۱۴۶/۹۹	۱۴۰/۹۵	۱۳۵/۲۹	۱۲۹/۹۶	۱۲۴/۹۶	۱۲۰/۲۴	۱۱۵/۷۸	۱۱۱/۵۸	۱۰۷/۶۰	۱۰۳/۸۴	۱۰۰/۲۷	۹۶/۸۹
w=0/35	۱	۳۰۰	۴۶۴/۷۵	۴۴۹/۶۴	۴۳۵/۲۵	۴۲۱/۵۵	۴۰۸/۴۸	۳۹۶/۰۰	۳۸۴/۱۰	۳۷۲/۷۲	۳۶۱/۸۳	۳۵۱/۴۲	۳۴۱/۴۵	۳۳۱/۹۰	۳۲۲/۷۵	۳۱۳/۹۶	۳۰۵/۵۴	۲۹۷/۴۴
		۴۰۰	۱۹۱/۰۷	۱۸۹/۶۹	۱۸۳/۶۲	۱۷۷/۸۴	۱۷۲/۳۳	۱۶۷/۰۶	۱۶۲/۰۴	۱۵۷/۲۴	۱۵۲/۹۵	۱۴۸/۲۶	۱۴۴/۰۵	۱۴۰/۰۲	۱۳۶/۱۶	۱۳۲/۴۵	۱۲۸/۹۰	۱۲۵/۴۸
	۲	۳۰۰	۳۴۸/۵۷	۳۳۴/۴۹	۳۲۱/۲۶	۳۰۸/۸۱	۲۹۷/۰۷	۲۸۶/۰۰	۲۷۵/۵۵	۲۶۵/۶۶	۲۵۶/۳۰	۲۴۷/۴۳	۲۳۹/۰۲	۲۳۱/۰۳	۲۲۳/۴۴	۲۱۶/۲۲	۲۰۹/۳۵	۲۰۲/۸۰
		۴۰۰	۱۴۷/۰۵	۱۴۱/۱۱	۱۳۵/۵۳	۱۳۰/۱۸	۱۲۵/۳۳	۱۲۰/۶۶	۱۱۶/۲۵	۱۱۲/۰۷	۱۰۸/۱۳	۱۰۴/۳۸	۱۰۰/۸۴	۹۷/۴۷	۹۴/۲۶	۹۱/۲۲	۸۸/۳۲	۸۵/۵۶
	۳	۳۰۰	۲۷۸/۸۵	۲۶۶/۳	۲۵۴/۵۸	۲۴۳/۶۵	۲۳۳/۴۱	۲۲۳/۸۳	۲۱۴/۸۳	۲۰۶/۳۸	۱۹۸/۴۲	۱۹۰/۹۳	۱۸۳/۸۶	۱۷۷/۱۸	۱۷۰/۸۷	۱۶۴/۸۹	۱۵۹/۲۲	۱۵۳/۸۵
		۴۰۰	۱۱۷/۱۴	۱۱۲/۳۴	۱۰۷/۴	۱۰۲/۷۹	۹۸/۴۷	۹۴/۴۳	۹۰/۶۳	۸۷/۰۷	۸۳/۷۱	۸۰/۵۵	۷۷/۵۶	۷۴/۷۵	۷۲/۰۸	۶۹/۰۵	۶۷/۱۷	۶۴/۹۱

آرماتورگذاری ۵) نسبت حداکثر عرض تیر به تعداد گروه میلگردها، در حالتیکه میلگردهای با قطر مساوی در یک لایه قرار گرفته‌اند (به منظور کنترل ترک‌خوردگی)

مراجع، بندهای ۸-۲-۶ و ۸-۲-۷ و ۸-۲-۹ و ۱۴-۳-۲ و ۱۴-۳-۳ از آیین‌نامه بتن ایران و مقاله زیر :

"Crack Control in Beams Reinforced with Bundled. Bars Using ACI 318-71 , "

Edvard G.Nawy, ACI JOURNAL, Proceeding V.69 , No. 10 , Oct . 1972 , pp

637-639.

$$\frac{b_w}{n} = \left(\frac{K\left(\frac{W}{13\times10^{-6}\times f_s}\right)^3}{2(d_c)^2}\right) \times \text{(تعداد میلگردهای هر گروه)}$$

برای حالتیکه دو میلگرد در یک گروه قرار دارند $K = 0.815$

برای حالتیکه سه میلگرد در یک گروه قرار دارند $K = 0.65$

$f_s = 0.6\, f_y$

	ترکیب گروه میلگردها	f_y (MPa)	bw/n			
			قطر میلگرد (mm)			
			۲۴	۲۶	۲۸	۳۰
W = 0.40	∞ $d_c = 55 + \frac{1}{2}d_b\,(mm)$	۳۰۰	۹۰۶/۸۶	۸۸۰/۳۸	۸۵۵/۰۶	۸۳۰/۸۰
		۴۰۰	۳۸۲/۵۸	۳۷۱/۴۲	۳۶۰/۷۲	۳۵۰/۵۰
	∞ $d_c = 55 + 0.788d_b\,(mm)$	۳۰۰	۸۹۱/۴۸	۸۵۴/۶۴	۸۲۰/۰۵	۷۸۷/۵۰
		۴۰۰	۳۷۶/۰۸	۳۶۰/۵۴	۳۴۵/۹۶	۳۳۲/۲۲
W = 0.35	∞ $d_c = 55 + \frac{1}{2}d_b\,(mm)$	۳۰۰	۶۰۷/۵۲	۵۸۹/۷۸	۵۷۲/۸۲	۵۵۶/۵۶
		۴۰۰	۲۵۶/۳۰	۲۴۸/۸۲	۲۴۱/۶۶	۲۳۴/۸۰
	∞ $d_c = 55 + 0.788d_b\,(mm)$	۳۰۰	۵۹۷/۲۱	۵۷۲/۵۵	۵۴۹/۳۶	۵۲۷/۵۵
		۴۰۰	۲۵۱/۹۴	۲۴۱/۵۳	۲۳۱/۷۵	۲۲۲/۵۷

آرماتورگذاری ۶) سطح مقطع میلگردهای موجود در یک متر عرض

فاصله دو میلگرد در یک متر (cm)	تعداد میلگردها	قطر میلگردها (mm)												
		۶/۰۰	۸/۰۰	۱۰/۰۰	۱۲/۰۰	۱۴/۰۰	۱۶/۰۰	۱۸/۰۰	۲۰/۰۰	۲۲/۰۰	۲۴/۰۰	۲۶/۰۰	۲۸/۰۰	۳۰/۰۰
۴	۲۵/۰۰	۷/۰۷	۱۲/۵۷	۱۹/۶۳	۲۸/۲۷	۳۸/۴۸	۵۰/۲۷	۶۳/۶۲	۷۸/۵۴	۹۵/۰۳	۱۱۳/۱۰	۱۳۲/۷۳	۱۵۳/۹۴	۱۶۷/۷۱
۵	۲۰/۰۰	۵/۶۵	۱۰/۰۵	۱۵/۷۱	۲۲/۶۲	۳۰/۷۹	۴۰/۲۱	۵۰/۸۹	۶۲/۸۲	۷۶/۰۳	۹۰/۴۸	۱۰۶/۱۹	۱۲۳/۱۵	۱۴۱/۳۷
۶	۱۶/۶۷	۴/۷۱	۸/۳۸	۱۳/۰۹	۱۸/۸۵	۲۵/۶۶	۳۳/۵۱	۴۲/۴۱	۵۲/۳۶	۶۲/۳۶	۷۵/۴۰	۸۸/۴۹	۱۰۲/۶۳	۱۱۷/۸۱
۷	۱۴/۲۹	۴/۰۴	۷/۱۸	۱۱/۲۲	۱۶/۱۶	۲۱/۹۹	۲۸/۷۲	۳۶/۳۵	۴۴/۸۸	۵۴/۳۰	۶۴/۶۳	۷۵/۸۵	۸۷/۹۶	۱۰۰/۹۸
۷/۵	۱۳/۳۳	۳/۷۷	۶/۷۰	۱۰/۴۷	۱۵/۰۸	۲۰/۵۳	۲۶/۸۱	۳۳/۹۳	۲۱/۸۹	۵۰/۶۸	۶۰/۳۲	۷۰/۷۹	۸۲/۱۰	۹۴/۲۵
۸	۱۲/۵۰	۳/۵۳	۶/۲۸	۹/۸۲	۱۴/۱۴	۱۹/۱۴	۲۵/۱۳	۳۱/۸۱	۳۹/۲۷	۴۷/۵۲	۵۶/۵۵	۶۶/۳۷	۷۶/۹۷	۸۸/۳۶
۸/۵	۱۱/۷۶	۳/۳۳	۵/۹۱	۹/۲۴	۱۳/۳۱	۱۸/۱۱	۲۳/۶۵	۲۹/۹۴	۳۶/۹۶	۴۴/۷۲	۵۳/۲۲	۶۲/۴۶	۷۲/۴۴	۸۳/۱۶
۹	۱۱/۱۱	۳/۱۴	۵/۵۹	۸/۲۳	۱۲/۵۷	۱۷/۱۰	۲۲/۳۴	۲۸/۲۷	۲۴/۹۱	۴۲/۲۴	۵۰/۲۷	۵۸/۹۹	۶۸/۴۲	۷۸/۵۴
۹/۵	۱۰/۵۳	۲/۹۸	۵/۲۹	۸/۲۷	۱۱/۹۰	۱۶/۲۰	۲۱/۱۶	۲۶/۷۹	۳۳/۰۷	۴۰/۰۱	۴۷/۶۲	۵۵/۸۹	۶۴/۸۲	۷۴/۴۱
۱۰	۱۰/۰۰	۲/۸۳	۵/۰۳	۷/۸۵	۱۱/۳۱	۱۵/۳۹	۲۰/۱۱	۲۵/۴۵	۳۱/۴۲	۳۸/۰۱	۴۵/۲۴	۵۳/۰۹	۶۱/۵۸	۷۰/۶۹
۱۰/۵	۹/۵۲	۲/۶۹	۴/۷۹	۷/۴۸	۱۰/۷۷	۱۴/۶۶	۱۹/۱۵	۲۴/۱۴	۲۹/۹۲	۳۶/۲۰	۴۳/۰۸	۵۰/۵۶	۵۸/۶۴	۶۷/۳۲
۱۱	۹/۰۹	۲/۵۷	۴/۵۷	۷/۱۴	۱۰/۲۸	۱۳/۹۹	۱۸/۲۸	۲۳/۱۳	۲۸/۵۶	۳۴/۵۶	۴۱/۱۳	۴۸/۲۷	۵۵/۹۸	۶۴/۲۶
۱۱/۵	۸/۷۰	۲/۴۶	۴/۳۷	۶/۸۳	۹/۸۳	۱۳/۲۹	۱۷/۴۸	۲۲/۱۳	۲۷/۳۲	۳۳/۰۶	۳۹/۳۴	۴۶/۱۷	۵۳/۵۴	۶۱/۴۷
۱۲	۸/۳۳	۲/۳۶	۴/۱۹	۶/۵۴	۹/۴۲	۱۲/۸۳	۱۶/۷۶	۲۱/۲۱	۲۶/۱۸	۳۱/۶۸	۳۷/۷۰	۴۴/۳۴	۵۱/۳۱	۵۸/۹۰
۱۲/۵	۸/۰۰	۲/۲۶	۴/۰۲	۶/۲۸	۹/۰۵	۱۲/۳۲	۱۶/۰۸	۲۰/۳۶	۲۵/۱۳	۳۰/۴۱	۳۶/۱۹	۴۲/۴۷	۴۹/۲۶	۵۶/۵۵
۱۳	۷/۶۹	۲/۱۷	۳/۸۷	۶/۰۴	۸/۷۰	۱۱/۸۴	۱۵/۴۷	۱۹/۵۷	۲۴/۱۷	۲۹/۳۴	۳۴/۸۰	۴۰/۸۴	۴۷/۳۷	۵۴/۳۷
۱۳/۵	۴/۴۰۳	۲/۰۹	۳/۷۲	۵/۶۲	۸/۳۹	۱۱/۴۰	۱۴/۸۹	۱۸/۸۵	۲۳/۲۷	۲۸/۱۶	۳۳/۵۱	۳۹/۳۳	۴۵/۶۱	۵۲/۳۶
۱۴	۷/۱۴	۲/۰۲	۳/۵۹	۵/۶۱	۸/۰۸	۱۱/۰۰	۱۴/۳۶	۱۸/۱۸	۲۲/۴۴	۲۷/۱۵	۳۲/۳۱	۳۹/۹۲	۴۳/۹۸	۵۰/۴۰۹
۱۴/۵	۶/۹۰	۱/۹۵	۳/۴۷	۵/۴۲	۷/۸۰	۱۰/۶۲	۱۳/۸۷	۱۷/۵۵	۲۱/۶۷	۲۶/۲۲	۳۱/۲۰	۳۶/۶۲	۴۲/۴۷	۴۸/۷۵
۵	۶/۶۷	۱/۸۸	۳/۳۵	۵/۲۴	۷/۵۴	۱۰/۲۶	۱۳/۴۰	۱۶/۹۶	۲۰/۹۴	۲۵/۳۴	۳۰/۱۶	۳۵/۴۰	۴۱/۰۵	۴۷/۱۲
۱۵/۵	۶/۴۵	۱/۸۲	۳/۲۴	۵/۰۷	۷/۳۰	۹/۹۳	۱۲/۹۷	۱۶/۴۲	۲۰/۲۷	۲۴/۵۲	۲۹/۱۹	۳۴/۲۵	۳۹/۷۳	۴۵/۶۰
۱۶	۶/۲۵	۱/۷۷	۳/۱۴	۴/۹۱	۷/۰۷	۹/۶۲	۱۲/۵۷	۱۵/۹۰	۱۹/۶۳	۲۳/۷۶	۲۸/۲۷	۳۳/۱۸	۳۸/۴۸	۴۴/۱۸
۱۶/۵	۶/۰۶	۱/۷۱	۳/۰۵	۴/۷۶	۶/۸۵	۹/۳۳	۱۲/۱۹	۱۵/۴۲	۱۹/۰۴	۲۳/۰۴	۲۷/۴۲	۳۲/۱۸	۳۷/۳۳	۴۲/۸۴
۱۷	۵/۸۸	۱/۶۶	۲/۹۶	۴/۶۲	۶/۶۵	۹/۰۶	۱۱/۸۳	۱۴/۹۷	۱۸/۴۸	۲۲/۳۶	۲۶/۶۱	۳۱/۲۳	۳۶/۲۲	۴۱/۵۸
۱۷/۵	۵/۷۱	۱/۶۲	۲/۸۷	۴/۴۹	۶/۴۶	۸/۸۰	۱۱/۴۹	۱۴/۵۴	۱۷/۹۵	۲۱/۷۲	۲۵/۸۵	۳۰/۳۴	۳۵/۱۹	۴۰/۳۹
۱۸	۵/۵۶	۱/۵۷	۲/۷۹	۴/۳۶	۶/۲۸	۸/۵۵	۱۱/۱۷	۱۴/۱۴	۱۷/۴۵	۲۱/۱۲	۲۵/۱۳	۲۹/۵۰	۳۴/۲۱	۳۹/۲۷
۱۸/۵	۵/۴۱	۱/۵۳	۲/۷۲	۴/۲۵	۶/۱۱	۸/۳۲	۱۰/۸۷	۱۳/۷۶	۱۶/۹۸	۲۰/۵۵	۲۴/۴۵	۲۸/۷۰	۳۳/۲۸	۳۸/۲۱
۱۹	۵/۲۶	۱/۴۹	۲/۶۵	۴/۱۳	۵/۹۵	۸/۱۰	۱۰/۵۸	۱۳/۳۹	۱۶/۵۳	۲۰/۰۱	۲۳/۸۱	۲۷/۹۴	۳۲/۴۱	۳۷/۲۰
۱۹/۵	۵/۱۳	۱/۴۵	۲/۵۸	۴/۰۳	۵/۸۰	۷/۸۹	۱۰/۳۱	۱۳/۰۵	۱۶/۱۱	۱۹/۴۹	۲۳/۲۰	۲۷/۲۳	۳۱/۵۸	۳۶/۳۵
۲۰	۵/۰۰	۱/۴۱	۲/۵۱	۳/۹۳	۵/۶۵	۷/۷۰	۱۰/۰۵	۱۲/۷۲	۱۵/۷۱	۱۹/۰۱	۲۲/۶۲	۲۶/۵۵	۳۰/۷۹	۳۵/۳۴
۲۵	۴/۰۰	۱/۱۳	۲/۰۱	۳/۱۴	۴/۵۲	۶/۱۶	۸/۰۴	۱۰/۱۸	۱۲/۵۷	۱۵/۲۱	۱۸/۱۰	۲۱/۲۴	۲۴/۶۳	۲۸/۲۷
۳۰	۳/۳۳	۰/۹۴	۱/۶۸	۲/۶۲	۳/۷۷	۵/۱۳	۶/۷۰	۸/۴۸	۱۰/۴۷	۱۲/۶۷	۱۵/۰۸	۱۷/۷۰	۲۰/۵۳	۲۳/۵۶

آرماتورگذاری ۷-۱) طول گیرائی میلگردهای آجدار با قطرهای مختلف در حالت k1=k2=k3=1 (fc = 20 MPa)

db (mm)	fc = 20 MPa								
	fy = 240 MPa			fy = 300 MPa			fy = 400 MPa		
	L_d (mm)		L_{dc} (mm)	L_d (mm)		L_{dc} (mm)	L_d (mm)		L_{dc} (mm)
	$\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_2 = 0.85$		$\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_2 = 0.85$		$\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_2 = 0.85$	
۶	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۴۴	۳۰۰	۱۵۰
۸	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۴۴	۳۰۰	۱۵۰	۴۵۹	۳۲۴	۱۸۳
۱۰	۳۴۴	۳۰۰	۱۵۰	۴۳۰	۳۰۴	۱۷۲	۵۷۳	۴۰۵	۲۲۹
۱۲	۴۱۳	۳۰۰	۱۶۵	۵۱۶	۳۶۴	۲۰۶	۶۸۸	۴۸۶	۲۷۵
۱۴	۴۸۲	۳۴۰	۱۹۳	۶۰۲	۴۲۵	۲۴۱	۸۰۳	۵۶۷	۳۲۱
۱۶	۵۵۰	۳۸۹	۲۲۰	۶۸۸	۴۸۶	۲۷۵	۹۱۷	۶۴۸	۳۶۷
۱۸	۶۱۹	۴۳۷	۲۴۸	۷۷۴	۵۴۶	۳۱۰	۱۰۳۲	۷۲۸	۴۱۳
۲۰	۶۸۸	۴۸۶	۲۷۵	۸۶۰	۶۰۷	۳۴۴	۱۱۴۷	۸۰۹	۴۵۹
۲۲	۹۴۶	۶۶۸	۳۰۳	۱۱۸۳	۸۳۵	۳۷۸	۱۵۷۷	۱۱۱۳	۵۰۵
۲۴	۱۰۳۲	۷۲۸	۳۳۰	۱۲۹۰	۹۱۱	۴۱۳	۱۵۲۰	۱۲۱۴	۵۵۰
۲۶	۱۱۱۸	۷۸۹	۳۵۸	۱۳۹۸	۹۸۷	۴۴۷	۱۸۶۳	۱۳۱۵	۵۹۶
۲۸	۱۲۰۴	۸۵۰	۳۸۵	۱۵۰۵	۱۰۶۲	۴۸۲	۲۰۰۷	۱۴۱۷	۶۴۲
۳۰	۱۲۹۰	۹۱۱	۴۱۳	۱۶۱۳	۱۱۳۸	۵۱۶	۲۱۵۰	۱۵۱۸	۶۸۸
۳۲	۱۳۷۶	۹۷۱	۴۴۰	۱۷۲۰	۱۲۱۴	۵۵۰	۲۲۹۳	۱۶۱۹	۷۳۴
۳۴	۱۴۶۲	۱۰۳۲	۴۶۸	۱۸۲۸	۱۲۹۰	۵۸۵	۲۴۳۷	۱۷۲۰	۷۸۰
۳۶	۱۵۴۸	۱۰۹۳	۴۹۵	۱۹۳۵	۱۳۶۶	۶۱۹	۲۵۸۰	۱۸۲۱	۸۲۶
۳۸	۱۶۳۴	۱۱۵۳	۵۲۳	۲۰۴۳	۱۴۴۲	۶۵۴	۲۷۲۳	۱۹۲۲	۸۷۱
۴۰	۱۷۲۰	۱۲۱۴	۵۵۰	۲۱۵۰	۱۵۱۸	۶۸۸	۲۸۶۷	۲۰۲۴	۹۱۷

یادداشت:

۱- طول گیرایی در کشش برای میلگردهایی که در روی دال یا تیر قرار می‌گیرند 1.3 برابر مقادیر جدول فوق می‌باشد.

۲- برای میلگردهای با بدنه صاف طول گیرائی دو برابر مقادیر جدول بالا می‌باشد.

۳- طول گیرائی مبنا برای میلگردهای قلاب‌دار، ℓ_{dhb} برابر طول گیرائی میلگردهای مستقیم در فشار است.

۴- در محاسبه ℓ_{dc} ، ضرائب α_1 و α_2 برابر ۱ فرض شده‌اند.

$$\ell_{db} = \frac{d_b f_y}{4 f_b} \quad (۲-۱۸)$$

$$\ell_{dc} = \alpha_1 \alpha_2 \ \ell_{dcb} \quad (۷-۱۸)$$

$$f_b = \lambda_1 \lambda_2 \ f_{bd} \quad (۳-۱۸)$$

$$\ell_{dcb} = \frac{d_b f_y}{4(1.5 f_{bd})}$$

$$f_{bd} = 0.65\sqrt{f_c} \quad (۴-۱۸)$$

$\lambda_1 = 1$ $\quad d_b \le 20$ mm

$\lambda_1 = 0.8$ $\quad d_b > 20$ mm

آرماتورگذاری ۷-۲) طول گیرائی میلگردهای آجدار با قطرهای مختلف در حالت k1=k2=k3=1 (fc = 25 MPa)

db (mm)	fc = 20 MPa								
	fy = 240 MPa			fy = 300 MPa			fy = 400 MPa		
	L_d (mm)		L_{dc} (mm)	L_d (mm)		L_{dc} (mm)	L_d (mm)		L_{dc} (mm)
	$\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_2 = 0.85$		$\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_2 = 0.85$		$\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_2 = 0.85$	
۶	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۸	۳۰۰	۱۵۰
۸	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۸	۳۰۰	۱۵۰	۴۱۰	۳۰۰	۱۶۴
۱۰	۳۰۸	۳۰۰	۱۵۰	۳۸۵	۳۰۰	۱۵۴	۵۱۳	۳۶۲	۲۰۵
۱۲	۳۶۹	۳۰۰	۱۵۰	۴۶۲	۳۲۶	۱۸۵	۶۱۵	۴۳۴	۲۴۶
۱۴	۴۳۱	۳۰۴	۱۷۲	۵۳۸	۳۸۰	۲۱۵	۷۱۸	۵۰۷	۲۸۷
۱۶	۴۹۲	۳۴۸	۱۹۷	۶۱۵	۴۳۴	۲۴۶	۸۲۱	۵۷۹	۳۲۸
۱۸	۵۵۴	۳۹۱	۲۲۲	۶۹۲	۴۸۹	۲۷۷	۹۲۳	۶۵۲	۳۶۹
۲۰	۶۱۵	۴۳۴	۲۴۶	۷۶۹	۵۴۳	۳۰۸	۱۰۲۶	۷۲۴	۴۱۰
۲۲	۸۴۶	۵۹۷	۲۷۱	۱۰۵۸	۷۴۷	۳۳۸	۱۴۱۰	۹۹۵	۴۵۱
۲۴	۹۲۳	۶۵۲	۲۹۵	۱۱۵۴	۸۱۴	۳۶۹	۱۵۳۸	۱۰۸۶	۴۹۲
۲۶	۱۰۰۰	۷۰۶	۳۲۰	۱۲۵۰	۸۸۲	۴۰۰	۱۶۶۷	۱۱۷۶	۵۳۳
۲۸	۱۰۷۷	۷۶۰	۳۴۵	۱۳۴۶	۹۵۰	۴۳۱	۱۷۹۵	۱۲۶۷	۵۷۴
۳۰	۱۱۵۴	۸۱۴	۳۶۹	۱۴۴۲	۱۰۱۸	۴۶۲	۱۹۲۲۳	۱۳۵۷	۶۱۵
۳۲	۱۲۳۱	۸۶۹	۳۹۴	۱۵۳۸	۱۰۸۶	۴۹۲	۲۰۵۱	۱۴۴۸	۶۵۶
۳۴	۱۳۰۸	۹۲۳	۴۱۸	۱۶۳۵	۱۱۵۴	۵۲۳	۲۱۷۹	۱۵۳۸	۶۹۷
۳۶	۱۳۸۵	۹۷۷	۴۴۳	۱۷۳۱	۱۲۲۲	۵۵۴	۲۳۰۸	۱۶۲۹	۷۳۸
۳۸	۱۴۶۲	۱۰۳۲	۴۶۸	۱۸۲۷	۱۲۹۰	۵۸۵	۲۴۳۶	۱۷۱۹	۷۷۹
۴۰	۱۵۳۸	۱۰۸۶	۴۹۲	۱۹۲۳	۱۳۵۷	۶۱۵	۲۵۶۴	۱۸۱۰	۸۲۱

یادداشت:

۱- طول گیرایی در کشش برای میلگردهایی که در روی دال یا تیر قرار می‌گیرند 1.3 برابر مقادیر جدول فوق می‌باشد.

۲- برای میلگردهای با بدنه صاف طول گیرائی دو برابر مقادیر جدول بالا می‌باشد.

۳- طول گیرائی مبنا برای میلگردهای قلاب‌دار، ℓ_{dhb} برابر طول گیرائی میلگردهای مستقیم در فشار است.

۴- در محاسبه ℓ_{dc}، ضرائب α_1 و α_2 برابر ۱ فرض شده‌اند.

$$\ell_{db} = \frac{d_b f_y}{4 f_b} \qquad (۲-۱۸)$$

$$f_b = \lambda_1 \lambda_2 \ f_{bd} \qquad (۳-۱۸)$$

$$f_{bd} = 0.65\sqrt{f_c} \qquad (۴-۱۸)$$

$$\ell'_{dc} = \alpha_1 \alpha_2 \ \ell_{dcb} \qquad (۷-۱۸)$$

$$\ell_{dcb} = \frac{d_b f_y}{4(1.5 f_{bd})}$$

$\lambda_1 = 1 \qquad d_b \le 20$ mm

$\lambda_1 = 0.8 \qquad d_b > 20$ mm

آرماتورگذاری ۷-۳) طول گیرائی میلگردهای آجدار با قطرهای مختلف در حالت k1=k2=k3=1 (fc = 30 MPa)

db (mm)	fc = 20 MPa								
	fy = 240 MPa			fy = 300 MPa			fy = 400 MPa		
	L_d (mm)		L_{dc} (mm)	L_d (mm)		L_{dc} (mm)	L_d (mm)		L_{dc} (mm)
	$\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_2 = 0.85$		$\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_2 = 0.85$		$\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_2 = 0.85$	
۶	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰
۸	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۷۵	۳۰۰	۱۵۰
۱۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۵۱	۳۰۰	۱۵۰	۴۶۸	۳۳۰	۱۸۷
۱۲	۳۳۷	۳۰۰	۱۵۰	۴۲۱	۳۰۰	۱۶۹	۵۶۲	۳۹۷	۲۲۵
۱۴	۳۹۳	۳۰۰	۱۵۷	۴۹۲	۳۴۷	۱۹۷	۶۵۵	۴۶۳	۲۶۲
۱۶	۴۴۹	۳۱۷	۱۸۰	۵۶۲	۳۹۷	۲۲۵	۷۴۹	۵۲۹	۳۰۰
۱۸	۵۰۶	۳۵۷	۲۰۲	۶۳۲	۴۴۶	۲۵۳	۸۴۳	۵۹۵	۳۳۷
۲۰	۵۶۲	۳۹۷	۲۲۵	۷۰۲	۴۹۶	۲۸۱	۹۳۶	۶۶۱	۳۷۵
۲۲	۷۷۲	۵۴۵	۲۴۷	۹۶۶	۶۸۲	۳۰۹	۱۲۸۷	۹۰۹	۴۱۲
۲۴	۸۴۳	۵۹۵	۲۷۰	۱۰۵۳	۷۴۴	۳۳۷	۱۴۰۴	۹۹۱	۴۴۹
۲۶	۹۱۳	۶۴۴	۲۹۲	۱۱۴۱	۸۰۵	۳۶۵	۱۵۲۱	۱۰۷۴	۴۸۷
۲۸	۹۸۳	۶۹۴	۳۱۵	۱۲۲۹	۸۶۷	۳۹۳	۱۶۳۸	۱۱۵۷	۵۲۴
۳۰	۱۰۵۳	۷۴۴	۳۳۷	۱۳۱۷	۹۲۹	۴۲۱	۱۷۵۶	۱۲۳۹	۵۶۲
۳۲	۱۱۲۴	۷۹۳	۳۶۰	۱۴۰۴	۹۹۱	۴۴۹	۱۸۷۳	۱۳۲۲	۵۹۹
۳۴	۱۱۹۴	۸۴۳	۳۸۲	۱۴۹۲	۱۰۵۳	۴۷۸	۱۹۹۰	۱۴۰۴	۶۳۷
۳۶	۱۲۶۴	۸۹۲	۴۰۴	۱۵۸۰	۱۱۱۵	۵۰۶	۲۱۰۷	۱۴۸۷	۶۷۴
۳۸	۱۳۳۴	۹۴۲	۴۲۷	۱۶۶۸	۱۱۷۷	۵۳۴	۲۲۲۴	۱۵۷۰	۷۱۲
۴۰	۱۴۰۴	۹۹۱	۴۴۹	۱۷۵۶	۱۲۳۹	۵۶۲	۲۳۴۱	۱۶۵۲	۷۴۹

یادداشت:

۱- طول گیرایی در کشش برای میلگردهایی که در روی دال یا تیر قرار می‌گیرند 1.3 برابر مقادیر جدول فوق می‌باشد.

۲- برای میلگردهای با بدنه صاف طول گیرائی دو برابر مقادیر جدول بالا می‌باشد.

۳- طول گیرائی مبنا برای میلگردهای قلاب‌دار، ℓ_{dhb} برابر طول گیرائی میلگردهای مستقیم در فشار است.

۴- در محاسبه ℓ_{dc} ، ضرائب α_1 و α_2 برابر ۱ فرض شده‌اند.

$$\ell_{db} = \frac{d_b f_y}{4 f_b} \quad (۲-۱۸)$$

$$\ell_{dc} = \alpha_1 \alpha_2 \ \ell_{dcb} \quad (۷-۱۸)$$

$$f_b = \lambda_1 \lambda_2 \ f_{bd} \quad (۳-۱۸)$$

$$\ell_{dcb} = \frac{d_b f_y}{4(1.5 f_{bd})}$$

$$f_{bd} = 0.65\sqrt{f_c} \quad (۴-۱۸)$$

$\lambda_1 = 1$ $\quad d_b \le 20$ mm

$\lambda_1 = 0.8$ $\quad d_b > 20$ mm

آرماتورگذاری ۷-۴) طول گیرائی میلگردهای آجدار با قطرهای مختلف در حالت k1=k2=k3=1 (fc = 35 MPa)

db (mm)	fc = 20 MPa								
	fy = 240 MPa			fy = 300 MPa			fy = 400 MPa		
	L_d (mm)		L_{dc} (mm)	L_d (mm)		L_{dc} (mm)	L_d (mm)		L_{dc} (mm)
	$\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_2 = 0.85$		$\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_2 = 0.85$		$\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_2 = 0.85$	
۶	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰
۸	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۴۷	۳۰۰	۱۵۰
۱۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۲۵	۳۰۰	۱۵۰	۴۳۳	۳۰۶	۱۷۳
۱۲	۳۱۲	۳۰۰	۱۵۰	۳۹۰	۳۰۰	۱۵۶	۵۲۰	۳۶۷	۲۰۸
۱۴	۳۶۴	۳۰۰	۱۵۰	۴۵۵	۳۲۱	۱۸۲	۶۰۷	۴۲۸	۲۴۳
۱۶	۴۱۶	۳۰۰	۱۶۶	۵۲۰	۳۶۷	۲۰۸	۶۹۳	۴۹۰	۲۷۷
۱۸	۴۶۸	۳۳۰	۱۸۷	۵۸۵	۴۱۳	۲۳۴	۷۸۰	۵۵۱	۳۱۲
۲۰	۵۲۰	۳۶۷	۲۰۸	۶۵۰	۴۵۹	۲۶۰	۸۶۷	۶۱۲	۳۴۷
۲۲	۷۱۵	۵۰۵	۲۲۹	۸۹۴	۶۳۱	۲۸۶	۱۱۹۲	۸۴۱	۳۸۱
۲۴	۷۸۰	۵۵۱	۲۵۰	۹۷۵	۶۶۸	۳۱۲	۱۳۰۰	۹۱۸	۴۱۶
۲۶	۸۴۵	۵۹۷	۲۷۰	۱۰۵۶	۷۴۶	۳۳۸	۱۴۰۹	۹۹۴	۴۵۱
۲۸	۹۱۰	۶۴۲	۲۹۱	۱۱۳۸	۸۰۳	۳۶۴	۱۵۱۷	۱۰۷۱	۴۸۵
۳۰	۹۷۵	۶۸۸	۳۱۲	۱۲۱۹	۸۶۰	۳۹۰	۱۶۲۵	۱۱۴۷	۵۲۰
۳۲	۱۰۴۰	۷۳۴	۳۳۳	۱۳۰۰	۹۱۸	۴۱۶	۱۷۳۴	۱۲۲۴	۵۵۵
۳۴	۱۱۰۵	۷۸۰	۳۵۴	۱۳۸۲	۹۷۵	۴۴۲	۱۸۴۲	۱۳۰۰	۵۸۹
۳۶	۱۱۷۰	۸۲۶	۳۷۴	۱۴۶۳	۱۰۳۳	۴۶۸	۱۹۵۰	۱۳۷۷	۶۲۴
۳۸	۱۲۳۵	۸۷۲	۳۹۵	۱۵۴۴	۱۰۹۰	۴۹۴	۲۰۵۹	۱۴۵۳	۶۵۹
۴۰	۱۳۰۰	۹۱۸	۴۱۶	۱۶۲۵	۱۱۴۷	۵۲۰	۲۱۶۷	۱۵۳۰	۶۹۳

یادداشت:

۱- طول گیرایی در کشش برای میلگردهایی که در روی دال یا تیر قرار می‌گیرند 1.3 برابر مقادیر جدول فوق می‌باشد.

۲- برای میلگردهای با بدنه صاف طول گیرائی دو برابر مقادیر جدول بالا می‌باشد.

۳- طول گیرائی مبنا برای میلگردهای قلاب‌دار، ℓ_{dhb} برابر طول گیرائی میلگردهای مستقیم در فشار است.

۴- در محاسبه ℓ_{dc} ، ضرائب α_1 و α_2 برابر ۱ فرض شده‌اند.

(۲-۱۸) $$\ell_{db} = \frac{d_b f_y}{4 f_b}$$

(۳-۱۸) $$f_b = \lambda_1 \lambda_2 \ f_{bd}$$

(۴-۱۸) $$f_{bd} = 0.65\sqrt{f_c}$$

$\lambda_1 = 1 \qquad d_b \le 20$ mm

$\lambda_1 = 0.8 \qquad d_b > 20$ mm

(۷-۱۸) $$\ell_{dc} = \alpha_1 \alpha_2 \ \ell_{dcb}$$

$$\ell_{dcb} = \frac{d_b f_y}{4(1.5 f_{bd})}$$

آرماتورگذاری ۷-۵) طول گیرائی میلگردهای آجدار با قطرهای مختلف در حالت k1=k2=k3=1 (fc = 40 MPa)

db (mm)	fc = 20 MPa								
	fy = 240 MPa			fy = 300 MPa			fy = 400 MPa		
	L_d (mm)		L_{dc} (mm)	L_d (mm)		L_{dc} (mm)	L_d (mm)		L_{dc} (mm)
	$\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_2 = 0.85$		$\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_2 = 0.85$		$\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_2 = 0.85$	
۶	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰
۸	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۲۴	۳۰۰	۱۵۰
۱۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۴	۳۰۰	۱۵۰	۴۰۵	۳۰۰	۱۶۲
۱۲	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۶۵	۳۰۰	۱۵۰	۴۸۷	۳۴۳	۱۹۵
۱۴	۳۴۱	۳۰۰	۱۵۰	۴۲۶	۳۰۰	۱۷۰	۵۶۸	۴۰۱	۲۲۷
۱۶	۳۸۹	۳۰۰	۱۵۶	۴۸۷	۳۴۳	۱۹۵	۶۴۹	۴۵۸	۲۵۹
۱۸	۴۳۸	۳۰۹	۱۷۵	۵۴۷	۳۸۶	۲۱۹	۷۳۰	۵۱۵	۲۹۲
۲۰	۴۸۷	۳۴۳	۱۹۵	۶۰۸	۴۲۹	۲۴۳	۷۱۱	۵۷۲	۳۲۴
۲۲	۶۶۹	۴۷۲	۲۱۴	۸۳۶	۵۹۰	۲۶۸	۱۱۱۵	۷۸۷	۳۵۷
۲۴	۷۳۰	۵۱۵	۲۳۴	۹۱۲	۶۴۴	۲۹۲	۱۲۱۶	۸۵۹	۳۸۹
۲۶	۷۹۱	۵۵۸	۲۵۳	۹۸۸	۶۹۸	۳۱۶	۱۳۱۸	۹۳۰	۴۲۲
۲۸	۸۵۱	۶۰۱	۲۷۲	۱۰۶۴	۷۵۱	۳۴۱	۱۴۱۹	۱۰۰۲	۴۵۴
۳۰	۹۱۲	۶۴۴	۲۹۲	۱۱۴۰	۸۰۵	۳۶۵	۱۵۲۰	۱۰۷۳	۴۸۷
۳۲	۹۷۳	۶۸۷	۳۱۱	۱۲۱۶	۸۵۹	۳۸۹	۱۶۲۲	۱۱۴۵	۵۱۹
۳۴	۱۰۳۴	۷۳۰	۳۳۱	۱۲۹۲	۹۱۲	۴۱۴	۱۷۲۳	۱۲۱۶	۵۵۱
۳۶	۱۰۹۵	۸۷۳	۳۵۰	۱۳۶۸	۹۶۶	۴۳۸	۱۸۲۴	۱۲۸۸	۵۸۴
۳۸	۱۱۵۵	۸۱۶	۳۷۰	۱۴۴۴	۱۰۲۰	۴۶۲	۱۹۲۶	۱۳۵۹	۶۱۶
۴۰	۱۲۱۶	۸۵۹	۳۸۹	۱۵۲۰	۱۰۷۳	۴۸۷	۲۰۲۷	۱۴۳۱	۶۴۹

یادداشت:

۱- طول گیرایی در کشش برای میلگردهایی که در روی دال یا تیر قرار می‌گیرند 1.3 برابر مقادیر جدول فوق می‌باشد.

۲- برای میلگردهای با بدنه صاف طول گیرائی دو برابر مقادیر جدول بالا می‌باشد.

۳- طول گیرائی مبنا برای میلگردهای قلاب‌دار، ℓ_{dhb} برابر طول گیرائی میلگردهای مستقیم در فشار است.

۴- در محاسبه ℓ_{dc} ، ضرائب α_1 و α_2 برابر ۱ فرض شده‌اند.

$$\ell_{db} = \frac{d_b f_y}{4 f_b} \qquad (۲-۱۸)$$

$$\ell_{dc} = \alpha_1 \alpha_2 \ \ell_{dcb} \qquad (۷-۱۸)$$

$$f_b = \lambda_1 \lambda_2 \ f_{bd} \qquad (۳-۱۸)$$

$$\ell_{dcb} = \frac{d_b f_y}{4(1.5 f_{bd})}$$

$$f_{bd} = 0.65\sqrt{f_c} \qquad (۴-۱۸)$$

$\lambda_1 = 1 \qquad d_b \le 20$ mm

$\lambda_1 = 0.8 \qquad d_b > 20$ mm

ضوابط ویژه برای
طراحی در برابر زلزله

مثال ۱ طرح تیرهای سازه با توجه به ضوابط شکل‌پذیری زیاد

تیر AB شکل زیر را با توجه به ضوابط شکل‌پذیری زیاد طرح نمایید.

مشخصات :

ابعاد تیر $b\times h = 50\times 60\ cm^2$

ضخامت دال $t = 20\ cm$

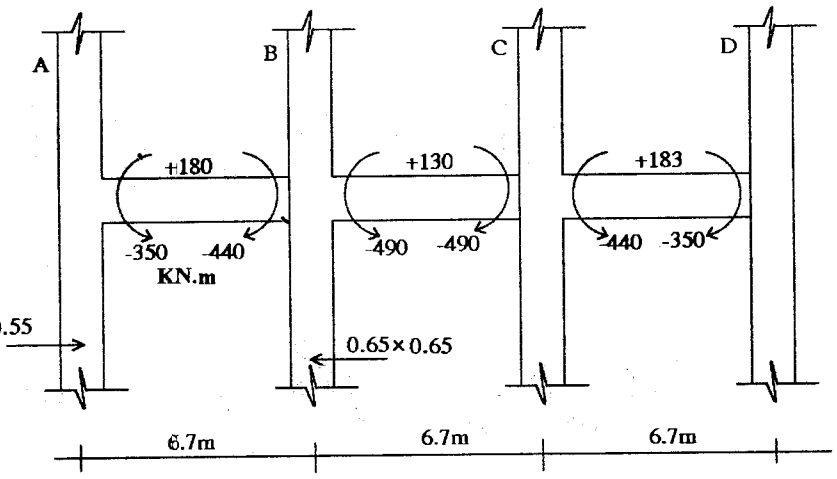
$f_c = 30\ MPa$

$f_y = 400\ MPa$

بار مرده روی تیر $W_D = 55\ KN/m$ (بدون ضریب)

بار زنده روی تیر $W_L = 28\ KN/m$(بدون ضریب)

$N_u < 0.15\ \phi_c\ f_c\ A_g$

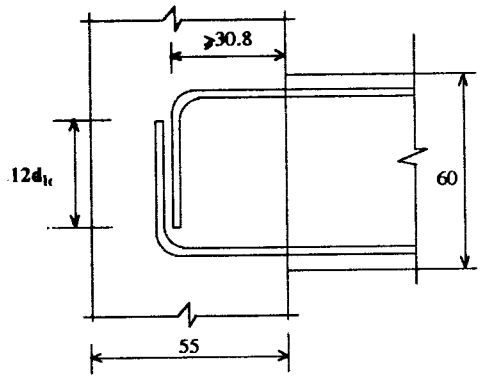


جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام اول)	
		کنترل ابعاد اعضای خمشی	۲۰-۵-۱-۱-۱
		در اعضای خمشی قاب‌ها محدودیت‌های هندسی زیر باید رعایت شود:	
		الف- ارتفاع موثر مقطع نباید بیشتر از یک چهارم طول دهانه آزاد باشد.	
		ب- عرض مقطع نباید کمتر از سه دهم ارتفاع آن باشد.	
		پ- عرض مقطع نباید :	
	$\frac{d}{\ell_n} = \frac{0.55}{6.7-0.5(0.55+0.65)} = 0.09 < 0.25$	- بیشتر از عرض ستون تکیه‌گاهی، در صفحه عمود بر محور طولی عضو خمشی، به اضافه سه چهارم ارتفاع عضو خمشی در هر طرف ستون باشد.	
	$\frac{b}{h} = \frac{50}{60} = 0.83 > 0.3 OK.$		
	یعنی :		
	$b \le$ (ارتفاع تیر × 1.5+ عرض ستون)	- بیشتر از عرض ستون تکیه‌گاهی به اضافه یک چهارم بعد دیگر مقطع ستون در هر طرف ستون باشد.	
	$b \le (0.55+1.5\times 0.6)=1.45$		
	$(b=0.5) < 1.45$ O.K.	- کمتر از ۲۵ سانتیمتر باشد.	
	$b \le (0.55+1/2\times 0.55)= 0.825$ m		
	$(b=0.5) < 0.825$ O.K.		
	$(b=0.5) > 0.25$ m O.K.		

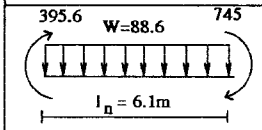
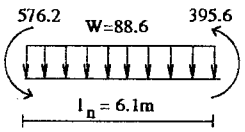
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام دوم)	
		تعیین مقدار آرماتورهای خمشی	
		الف- تکیه‌گاه‌های B و C	
		چون از آرماتورهای ممتد در مقاطع استفاده	
		می‌شود در نقطه B بیشترین لنگر خمشی منفی	
		را معیار قرار می‌دهیم.	
		$M_u^- = 490 \quad KN.m$	
	$a = \frac{0.85 \times A_s \times 400}{0.85 \times 0.6 \times 30 \times 0.50} = 44.4A_s$	$a = \frac{\phi_s A_s f_y}{0.85\phi_c . f_c . b}$	
	$490 \times 10^{-3} = 0.85 \times A_s \times 400(0.55 - \frac{44.4}{2} A_s)$	$M_u = \phi_s A_s f_y (d - \frac{a}{2})$	
	$7548\ A_s^2 - 187\ A_s + 0.49 = 0$		
	بنابراین :		
	$A_s \approx 0.0030\ m^2 = 30\ cm^2$		
	USE 8 Φ 22 , $A_s = 30.41\ cm^2$		
	ρ_{min} و ρ_{max} را کنترل می‌کند.		
	$\rho = \frac{30.41}{50 \times 55} = 0.011$		۱-۲-۱-۵-۲۰
	$\rho_{min} = \frac{1.4}{400} = 0.0035 < \rho$ OK.		
	$\rho_{max} = 0.025 > \rho$ OK.		
		با این مقدار آرماتور ظرفیت خمشی مقطع را	
		محاسبه می‌کنیم.	
	$a = \frac{0.85 \times 30.41 \times 400}{0.85 \times 0.6 \times 30 \times 50} = 13.51 \ cm$	$a = \frac{\phi_s A_s f_y}{0.85\phi_c . f_c . b}$	
	$M_r = 0.85 \times 30.41 \times 10^{-2} \times 400(0.55 - \frac{0.13}{2}) \times 10^3$ $= 499 \ KN.m$	$M_r = \phi_s A_s f_y (d - \frac{a}{2})$	
		ب- تکیه‌گاه‌های A و D	

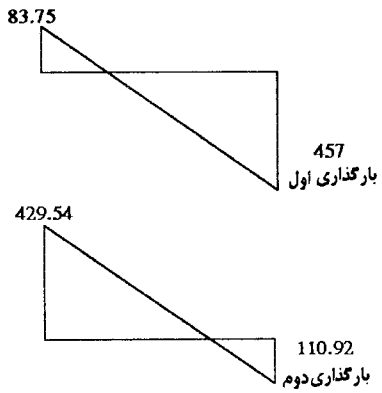
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		$M_u^- = 350 \quad KN.m$	
	$A_s = \frac{30}{490} \times 350 = 21.4 cm^2$		
	USE 6Φ22 , $A_s = 22.81 \quad cm^2$		
	$a = \frac{0.85 \times 22.81 \times 400}{0.85 \times 0.6 \times 30 \times 50} = 10 \quad cm$	$a = \frac{\phi_s A_s f_y}{0.85 \phi_c . f_c . b}$	
	$M_r = 0.85 \times 22.81 \times 10^{-4} \times 400 (0.55 - \frac{0.1}{2}) \times 10^3$ = 388 KN.m	$M_r = \phi_s A_s f_y (d - \frac{a}{2})$	
	در تکیه‌گاه A داریم:	پ- لنگرهای مثبت تکیه‌گاه‌ها در تکیه‌گاه‌های عضو خمشی باید آرماتور فشاری به مقدار نصف آرماتور کششی موجود در آن مقطع تامین گردد.	۲۰-۵-۱-۲-۲
	$Min.M_u^+ = \frac{388}{2} = 194 \quad KN.m$		
	در تکیه‌گاه B داریم:		
	$Min.M_u^+ = \frac{504}{2} = 252 \quad KN.m$		
	لنگرهای فوق از لنگرهای مثبت بدست آمده از آنالیز بیشتر می‌باشند. به این نکته توجه شود که لنگر مثبت تکیه‌گاه B از لنگر مثبت وسط دهانه تیرهای AB و BC بیشتر شده است. چون می‌خواهیم آرماتورهای مثبت وسط دهانه به صورت سراسری از داخل تکیه‌گاه‌ها عبور کنند و لنگر مثبت در تکیه‌گاه B بیشتر از لنگر مثبت وسط دهانه است آن را در طراحی مدنظر می‌گیریم.		
	$M_u^+ = 252 \quad KN.m$		
	$A_s = \frac{30}{490} \times 252 = 15.4 \quad cm^2$		
	USE 4 Φ 22 , $A_s = 15.21 \quad cm^2$	ت- لنگرهای مثبت وسط دهانه در هر عضو خمشی حداقل یک چهارم آرماتور موجود در مقاطع تکیه‌گاه‌ها، هر انتها که آرماتور بیشتری دارد، باید در سراسر طول تیر در بالا و در پایین ادامه داده شود.	۲۰-۵-۱-۲-۳

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$a=\frac{0.85\times15.21\times400}{0.85\times0.6\times30\times50}=6.8\ cm$	$a=\frac{\phi_s A_s f_y}{0.85\phi_c.f_c.b}$	
	$M_r=0.85\times15.21\times10^{-4}\times400(0.55-\frac{0.068}{2})\times10^3$ $=267\ KN.m$	$M_r=\phi_s A_s f_y(d-\frac{a}{2})$	
	$\rho=\frac{15.71}{50\times55}=0.0057$	$\rho=\frac{A_s}{bd}$	
	$\rho_{min}=\frac{1.4}{400}=0.035<\rho$ OK.	$\rho_{min}=\frac{1.4}{f_y},\frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y}$	۱-۲-۱-۵-۲۰
	$\rho_{min}=\frac{0.25\sqrt{80}}{400}=0.0035<\rho$ OK.		
	بنابراین 22 Φ 4 را در پایین تیر قرار داده و در سرتاسر طول آن امتداد می‌دهیم.		
		گام سوم)	
		محاسبه طول گیرایی آرماتورهای خمشی در ستون خارجی	۳-۴-۵-۲۰
		برای مهار کردن این میلگردها در ستون از قلاب استاندارد ۹۰ درجه استفاده می‌شود.	
	$f_{bd}=0.65\sqrt{30}=3.56Mpa$	$f_{bd}=0.65\sqrt{f_c}$	معادله ۱۸-۴
	$f_b=2\times3.56=7.12Mpa$	$f_b=2f_{bd}$	۱-۳-۴-۵-۲۰
	$\ell_{dh}=\frac{d_b\times400}{4\times7.12}=14d_b$	$\ell_{dh}=\frac{d_b.f_y}{4f_b}$	معادله ۱۸-۲
	$\ell_{dh}>8\ d_b$ O.K.	طول گیرایی قلاب همچنین نباید کمتر از مقادیر ۸ برابر قطر میلگرد و ۱۵۰ میلیمتر اختیار گردد.	۱-۳-۴-۵-۲۰
	و باید:	**تذکر:** طبق آیین‌نامه بتن ایران خم ۹۰ درجه به اضافه طول مستقیم برابر حداقل $12d_b$ در انتهای آزاد میلگرد قلاب استاندارد تلقی می‌شود.	۲-۴-۲-۸
	$\ell_{dh}=14\ d_b\geq15\ cm$		

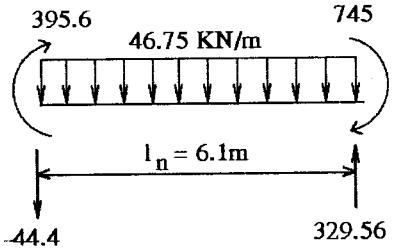
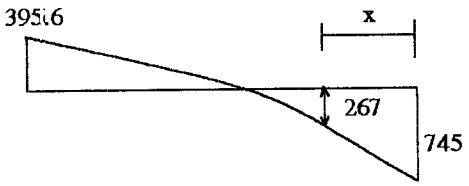
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	برای میلگردهای فوقانی 22 Φ 6 داریم: $\ell_{dh} = 14 \times 2.2 = 30.8\ cm > 15\ O.K.$ برای میلگردهای تحتانی 22 Φ 4 داریم: $\ell_{dh} = 14 \times 2.2 = 30.8\ cm > 15\ O.K.$  	**تذکر:** آرماتورهای طولی تیرها که به ستون ختم می‌شوند باید تا انتهای دیگر هسته محصور شده ستون ادامه یابند.	۲۰-۵-۴-۲-۳
	برای حرکت جانبی به سمت راست، برش تکیه‌گاه B در نتیجه لنگرهای پلاستیک دو انتهای تیر AB به صورت زیر محاسبه می‌شود.	**گام چهارم)** محاسبه آرماتورهای برشی مورد نیاز نیروی برشی نهایی V_u در اعضای خمشی باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای قائم و لنگرهای خمشی موجود در مقاطع انتهایی عضو با فرض آنکه در این مقاطع مفصل‌های پلاستیکی تشکیل شده‌اند، تعیین شود. ظرفیت خمشی مفصل‌های پلاستیکی مثبت یا منفی، باید برابر با لنگر خمشی مقاومت محتمل، MP_r در نظر گرفته شود.	۲۰-۵-۵-۱-۲

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	محاسبه لنگر مقاوم خمشی محتمل 4 Φ 22 $4\ \Phi\ 22 \rightarrow A_s = 15.21\ cm$ $a = \frac{15.21 \times 1.25 \times 400}{0.85 \times 30 \times 50} = 5.96$ $MPr = 15.21 \times 1.25 \times 400 \times 10^{-4}$ $(0.55 - \frac{0.0596}{2}) \times 10^3 = 395.6$ محاسبه لنگر مقاوم خمشی محتمل 8 Φ 22 $8\ \Phi\ 22 \rightarrow A_s = 30.41$ $a = \frac{30.41 \times 1.25 \times 400}{0.85 \times 30 \times 50} = 11.92$ $MP_r = 30.41 \times 1.25 \times 400 \times 10^{-4}$ $(0.55 - \frac{0.1192}{2}) \times 10^3 = 745$ محاسبه لنگر مقاوم خمشی 6 Φ 22 $6\ \Phi\ 22 \rightarrow A_s = 22.81$ $a = \frac{22.81 \times 1.25 \times 400}{0.85 \times 30 \times 50} = 8.945$ $MP_r = 22.81 \times 1.25 \times 400 \times 10^{-4}$ $(0.55 - \frac{0.08945}{2}) \times 10^3 = 576.2$ $V_B = \frac{395.6 + 745}{6.1} = 187 \quad KN$ $W = 55 + 1.2 \times 28 = 88.6 \quad KN.m$	MP_r $V_B = \frac{M^+_{l\,max} + M^-_{r\,max}}{l_n}$ $W = W_D + 1.2\ W_L$	۱-۲-۲۰ ۴-۳-۵-۱۰

بارگذاری	$V_e = \frac{M_A^{\pm} + M_B^{\pm}}{l_n} + \frac{W.l_n}{2}$	
	A	B
 حرکت جانبی به سمت راست	83.75	457
 حرکت جانبی به سمت چپ	429.54	110.92

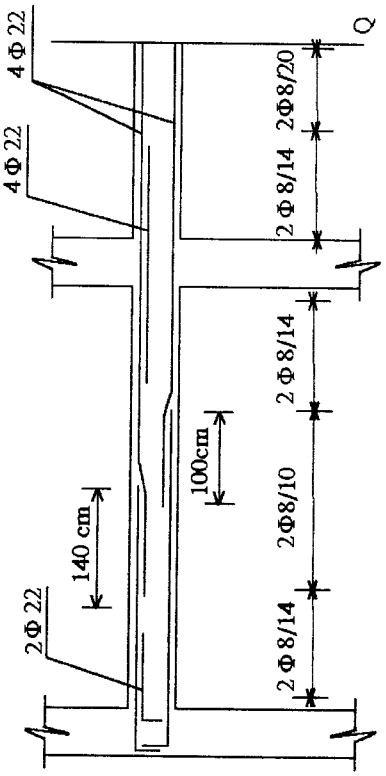
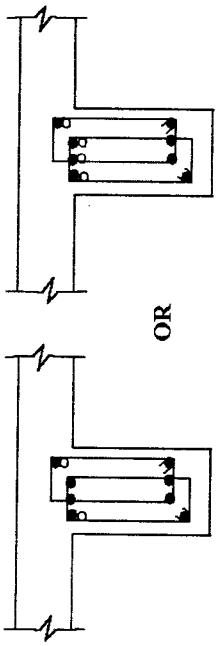
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	نمودار برش:  		
	در تکیه‌گاه B داریم: $V_c = 457 \ \ KN$ $\frac{V_c}{2} = 228.5KN > V_B$ بنابراین V_c را برابر صفر نمی‌گیریم. به دلیل نزدیک بودن V_c و V_B مقدار V_B را در طراحی خاموتهای دو انتهای تیر مد نظر قرار می‌دهیم.	در اعضای خمشی، در صورتی که نیروی برشی ایجاد شده در عضو به علت اختلاف لنگرهای خمشی موجود در مفصل‌های پلاستیکی دو انتهای آن، بزرگتر از نصف نیروی برشی طرح باشد. مقدار نیروی برشی مقاوم بتن (V_c) را باید برابر صفر در نظر گرفت.	۴-۱-۵-۵-۲۰
	$V_c = 0.2\times 0.6\times\sqrt{30}\times 0.5\times 0.55\times 10^3$ $V_c = 180.75 \ \ KN$	$V_c = 0.2\phi_c\sqrt{f_c}bd$	۱-۱-۳-۱۲
	$V_s = 457 - 180.75 = 276.25 \ \ KN$	$V_s = V_e - V_c$	۲-۲-۱۲
	با فرض استفاده از دو حلقه خاموت Φ 8 ($A_v=2.01cm^2$) داریم: $S = \frac{2.01\times 10^{-4}\times 0.85\times 400\times 0.55}{276.25\times 10^{-3}} = 0.136 \ m$	قطر تنگ‌های ویژه نباید کمتر از ۸ میلیمتر باشد.	۲-۳-۱-۵-۲۰
	$2h = 2\times 60 = 120 \ cm$ بنابراین در فاصله ۱۲۰ سانتیمتر از برتکیه‌گاه‌ها از 2 Φ 8/14 cm استفاده می‌کنیم.	$S = \frac{A_v\phi_s f_y.d}{V_s}$ در طولی معادل دو برابر ارتفاع مقطع از بر تکیه‌گاه به سمت وسط دهانه، باید تنگ ویژه بکار برده شود.	۱-۲-۴-۱۲ ۱-۳-۱-۵-۲۰

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$\frac{d}{4}=\frac{55}{4}=13.75$ cm $8d_{b\ min}=8\times 2.2=17.6$ cm $24d_{bs}=24\times 1=24$ cm $300mm=30$ cm بنابراین S باید کمتر از 13.75cm باشد. $S=14\ cm\approx 13.75$ O.K در خارج از محدوده 2h از بر تکیه‌گاه داریم: $S_{MAX}=\frac{d}{2}=\frac{55}{2}=27.5$ cm	فاصله تنگ‌های ویژه از یکدیگر نباید بیشتر از مقادیر زیر باشد: - یک چهارم ارتفاع موثر مقطع. - ۸ برابر قطر کوچکترین میلگرد طولی - ۲۴ برابر قطر خاموتها - ۳۰۰ میلیمتر	۲-۳-۱-۵-۲۰
		در قسمت‌هایی از طول عضو خمشی که به تنگ ویژه نیاز نیست. فاصله خاموت‌ها نباید بیشتر از نصف ارتفاع موثر مقطع اختیار شود.	۴-۳-۱-۵-۲۰
		تذکر: برای خاموت‌گذاری تیر باید به نکات زیر توجه شود:	
		- فاصله اولین تنگ از بر تکیه‌گاه بیشتر از ۵ سانتیمتر نباشد.	۲-۳-۱-۵-۲۰
		- در قسمت‌هایی از طول عضو خمشی که تنگ ویژه بکار برده می‌شود. میلگردهای طولی مقطع در محیط مقطع باید دارای تکیه‌گاه عرضی مطابق ضوابط بند (۸-۴-۳-۵) باشند.	۳-۳-۱-۵-۲۰
		- اگر بارگذاری طوری باشد که در طول دهانه امکان ایجاد مفصل پلاستیکی وجود داشته باشد. (مانند وجود بار متمرکز در نزدیکی وسط دهانه) باید در طولی معادل دو برابر ارتفاع مقطع در دو سمت مقطع مورد نظر تنگ ویژه بکار برد.	۱-۳-۱-۵-۲۰
		- در طولی از عضو که برای تامین ظرفیت خمشی مقطع به آرماتور فشاری نیاز باشد باید از تنگ ویژه استفاده نمود.	۱-۳-۱-۵-۲۰
		- استفاده از وصله‌های پوششی در طولی معادل دو برابر ارتفاع مقطع از بر تکیه‌گاه، و در محل‌هایی که امکان تشکیل مفصل پلاستیکی در آنها در اثر تغییر مکان جانبی غیر الاستیکی قاب موجود باشد، مجاز نیست.	۶-۲-۱-۵-۲۰
		- در صورت استفاده از وصله‌های پوششی در قسمت‌های مجاز، باید در تمام طول وصله آرماتور عرضی از نوع تنگ یا مارپیچ قرار دارد فاصله آرماتورهای فوق نباید از یک چهارم ارتفاع موثر مقطع و یا ۱۰ سانتیمتر تجاوز کند.	۵-۲-۱-۵-۲۰

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام پنجم)	
	$0.85W_D = 0.85\times 55 = 46.75$ KN.m	نقاط قطع آرماتورهای منفی برای تعیین نقاط قطع آرماتورهای منفی، باید دیاگرام لنگر خمشی مربوط به لنگرهای پلاستیک انتهایی و بار گسترده روی تیر با شدت $0.85\ W_D$ را مد نظر قرار داد.	معادله ۱۰-۱۱
		در این قسمت نقطه قطع مربوط به چهار عدد از 8 Φ 22 مربوط به تکیه‌گاه B تعیین می گردد.	
		با داشتن ظرفیت تحمل لنگر مقطعی که دارای 4 Φ 22 می‌باشد (M_r=267KN.m) می‌توان فاصله این مقطع را از تکیه‌گاه B با استفاده از لنگرگیری حول این مقطع بدست آورد.	
	$329.56\times 745 - 46.75\frac{x^2}{2} = -267$		
	با حل معادله فوق داریم:		
	$x = 1.46$ m $d = 55$ cm $12\ d_b = 12\times 2.2 = 26.4$ cm $< d$	آرماتورها باید از محل قطعی که وجودشان دیگر برای تحمل لنگر خمشی لازم نیست به اندازه حداقل برابر با d یا $12d_b$ هر کدام بزرگترند، ادامه داده شوند.	۳-۱-۳-۱۸
	بنابراین طول آرماتورهای قطع شونده از لبه تکیه‌گاه B برابر است با: $x + d = 1.46 + 0.55 = 2.01 \approx 2.1$ m	رعایت این ضابطه در انتهای عضو با تکیه‌گاه ساده یا انتهای آزاد عضو کنسولی الزامی نیست.	
	طول گیرایی میلگرد فوقانی 22 Φ با توجه به بند (۱۸-۲-۲-۱) برابر است با: $\ell_{d1} = 96.4$ cm	طول گیرایی میلگردهای مستقیم l_d در میلگردهای فوقانی نباید کمتر از ۳/۵ برابر طول گیرایی میلگردهای قلاب‌دار تعریف شده در بند (۲۰-۵-۴-۳-۱) منظور گردد.	۳-۳-۴-۵-۲۰
	و طول گیرایی با توجه به ℓ_{dh} برابر است با: $\ell_{d2} = 3.5\ \ell_{dh} = 3.5\times 30.8 = 107.8$ cm $\ell_d = \text{MAX}\ (\ell_{d1}\ .\ l_{d2})$ $\ell_d = 107.8$ cm $< x + d$ O.K.		
	به همین ترتیب می‌توان محل قطع دو عدد از 6 Φ 22 مربوط به تکیه‌گاه A را تعیین نمود.		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام ششم) وصله آرماتورهای خمشی استفاده ا زوصله پوششی در محل‌های زیر مجـاز نیست: **- در اتصالات تیرها به ستون‌ها** **- در طولی معـادل دو برابـر ارتفـاع مقطـع از بـر تکیه‌گاه** - در محـل‌هـایی کـه امکـان تشـکیل مفصـل پلاستیکی در آنها در اثر تغییر مکان جـانبی غیـر الاستیکی قاب موجود باشد. لازم به یادآوری است که اسـتفاده از وصـله‌هـای پوششی در میلگردهـای طـولی خمشـی فقـط در شرایطی مجـاز اسـت کـه در تمـام طـول وصـله آرماتور عرضی از نوع تنگ یا مارپیچ موجود باشد. در ضـمن فاصـله آرماتورهـای عرضـی فـوق از یکدیگر نباید از $\frac{d}{4}$ یا ۱۰ سانتیمتر تجاوز کند. الف۰ آرماتورهای تحتانی میلگردهای تحتانی تقریباً در کل طول تیر دارای تنش حداکثر می‌باشند. حداکثر لنگر بدست آمده از آنالیز در تیرهـای AB و CD برابر 180 KN.m می‌باشد و لنگر مقاوم تیر به همراه 4Φ22 برابر 267 KN.m است.	۲۰-۵-۱-۲-۶
	اگر نسبت آرماتورهای موجود به آرماتورهای لازم را برابر نسـبت لنگر وارده به لنگر مقاوم بگیریم خواهیم داشت: $\frac{A_s \text{موجود}}{A_s \text{لازم}} = \frac{267}{180} = 1.48 < 2$ با توجه به اینکه نسبت فوق کمتر از دو است و در عین حال تمام میلگردها در ناحیه طول پوشش وصله می‌شـوند. طـول پوشـش وصله برابر $1.3l_d$ می‌باشد.	در وصله‌های پوششی طول پوشش بایـد حـداقل برابر با $1.3\ l_d$ باشد. تنها در صورتی که دو شرط زیر تواماً تامین باشد طول پوشش را می‌توان به مقدار کاهش داد: - مقدار آرماتور موجـود در ناحیـه طـول پوشـش حداقل به اندازه دوبرابر مقدار مورد نیاز باشد. - حداکثر نصف آرماتور موجود در مقطع در ناحیه طول پوشش وصله شود.	۱۸-۴-۲-۱

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
آرماتورگذاری ۷-۳	طول گیرایی 22 Φ با توجه به بند (۱۸-۲-۲-۱') برابر است با: $\ell_{d1} = 14.20$ cm و طول گیرایی با توجه به l_{dh} برابر است با: $\ell_{d2} = 2.5\ \ell_{dh} = 2.5 \times 30.8 = 77$ cm $\ell_d = 77$ cm $1.3\ \ell_d = 1.3 \times 77 = 100.1$ cm و یا : طول پوشش ≈ 100 cm با توجه به گام پنجم داریم: $\ell_d = 107.8$ cm $1.3\ \ell_d = 1.3 \times 107.8 = 140.14$ cm و یا : طول پوشش ≈ 140 cm	لازم به ذکر است که طول پوشش در هیچ حالت نباید کمتر از ۳۰ سانتیمتر اختیار شود. طول گیرایی میلگردهای مستقیم تحتانی، مطابق تعریف بند (۱۸-۲-۲-۱) نباید از ۲/۵ برابر طول گیرایی میلگردهای قلاب‌دار تعریف در بند (۲۰-۵-۴-۳-۱) کمتر باشد. $\ell_d = MAX\ (\ell_{d1}\ .\ \ell_{d2})$ طول پوشش $= 1.3\ \ell_d$ ب- آرماتورهای فوقانی با توجه به اینکه وسط دهانه همواره تحت تاثیر لنگر خمشی مثبت می‌باشد، بهتر است وصله آرماتورهای منفی در حوالی آن انجام شود. در وصله‌های پوششی طول پرسش باید حداقل برابر باشد: $1.3\ \ell_d \geq 30$ cm	۲۰-۵-۴-۳-۳ ۱۸-۲-۴-۱

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		**گام هفتم)** رسم نقشه جزئیات تیر	
		تذکر ۱ : قطر تنگ‌های ویژه نباید کمتر از ۸ میلیمتر باشد.	۲۰-۵-۱-۳-۲
		تذکر ۲ : در محل وصله آرماتورها، فواصل میلگردها عرضی نباید بیشتر از $\frac{d}{4}$ و یا ۱۰ سانتیمتر باشد.	۲۰-۵-۱-۲-۵
		تذکر ۳ : فاصله اولین تنگ از برتکیه‌گاه نباید بیشتر از ۵ سانتیمتر باشد.	۲۰-۵-۱-۳-۲
		**تذکر ۴ :** آرماتورهایی که در مقطع تیر با دایره توخالی نشان داده شده‌اند، مربوط به میلگردهای تقویتی قطع شده روی تکیه‌گاه‌ها می‌باشند.	
		تذکر ۵ : میلگردهای طولی موجود در ناحیه دارای تنگ‌های ویژه باید دارای تکیه‌گاه عرضی مطابق ضوابط بند (۸-۴-۵-۳) باشند.	۲۰-۵-۱-۳-۲

مثال ۲ طرح ستون‌های سازه با توجه به ضوابط شکل‌پذیری زیاد

خاموت‌های ستون کناری طبقه دوم قاب مثال قبل را با توجه به ضوابط شکل‌پذیری زیاد طرح نمایید. بارهای وارد بر ستون در جدول زیر آمده‌اند.

ترکیب بارگذاری	ستون کناری طبقه دوم		
	بار محوری KN	لنگر خمشی KN.m	
		بالا	پایین
U_1	-۲۰۳۰	-۸۸	+۸۸
U_2 حرکت به سمت راست	-۳۴۶۵	-۵/۵	-۱۵
حرکت به سمت چپ	-۴۸۳۸	-۱۵۹	+۱۸۱
U_3 حرکت به سمت راست	-۱۶۰۲	+۳۷	-۵۹
حرکت به سمت چپ	-۲۹۷۵	-۱۱۶	+۱۳۷

مشخصات :

ابعاد ستون $C_1 \times C_2 = 55 \times 55\ cm^2$

$f_c = 30\ MPa$

$f_y = 400\ MPa$

آرماتورهای طولی $8\ \Phi\ 22$

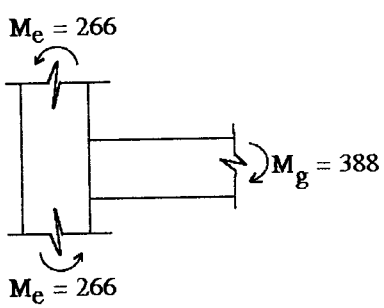
$U_1 = 1.25\ D + 1.5\ L$

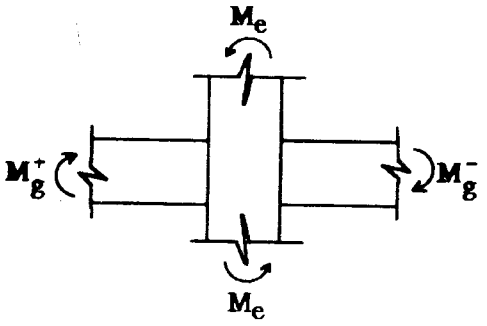
$U_2 = D + 1.2\ L + 1.2\ E$

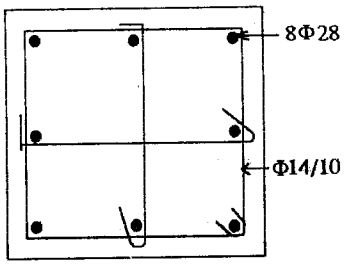
$U_3 = +0.85D + 1.2\ E$

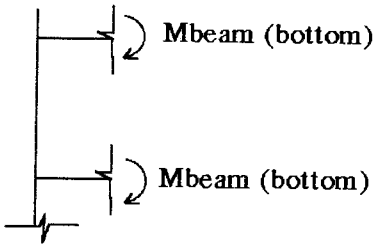
ارتفاع آزاد ستون $h = 3\ m$

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام اول) کنترل ابعاد ستون در ستون محدودیت‌های هندسی زیر باید رعایت شوند: - عرض مقطع نباید کمتر از چهاردهم بعد دیگر آن و نباید کمتر از ۳۰ سانتیمتر باشد. - نسبت طول آزاد ستون به عرض آن در ستونهایی که زیر اثر لنگرهای خمشی موجود در دو انتها در دو جهت خم می‌شوند نباید بیشتر از ۱۶ و در ستونهای کنسولی نباید بیشتر از ۱۰ باشد.	
	$\frac{C_1}{C_2} = \frac{55}{55} = 1 > 0.4$ O.K. $C1 = 55 > 30$ cm O.K. $\frac{h}{C_1} = \frac{300}{55} = 5.45 < 16$ O.K.		
		گام دوم) کنترل محدودیت‌های آرماتورهای قائم و ظرفیت خمشی مقطع در صورتی که Pu از $0.15\phi_c.f_c.A_g.b$ بیشتر باشد ضوابط اعضای فشاری خمشی را باید کنترل نمود.	۲-۵-۲۰
	$P_u\,(MAX) = 4838$ KN (حرکت به سمت چپ) $0.15\phi_c.f_c.A_g = 0.15 \times 0.6 \times 30 \times 0.55^2 \times 10^3 = 816.75$ KN < Pu O.K.	در ستونها نسبت آرماتور طولی نباید کمتر از یک درصد و بیشتر از شش درصد در نظر گرفته شود. نسبت آرماتور در خارج از محل وصله‌ها به چهارو نیم درصد محدود می‌شود.	۱-۲-۲-۵-۲۰
	$\rho = \frac{8 \times 6.16}{55 \times 55} = 0.016$ O.K.	$0.85 < \rho = \frac{A_{st}}{A_g} < 0.045$	
	برای محاسبه M_e دیاگرام تداخلی مربوط به حالت f_c=30MPa, f_y= 400MPa و $\frac{d}{4} = \frac{50}{55} = 0.9$ را در نظر می‌گیریم.	در اتصالات تیرها به ستونها، لنگرهای خمشی مقاوم ستونها باید در رابطه زیر صدق کنند:	۱-۴-۲-۵-۲۰

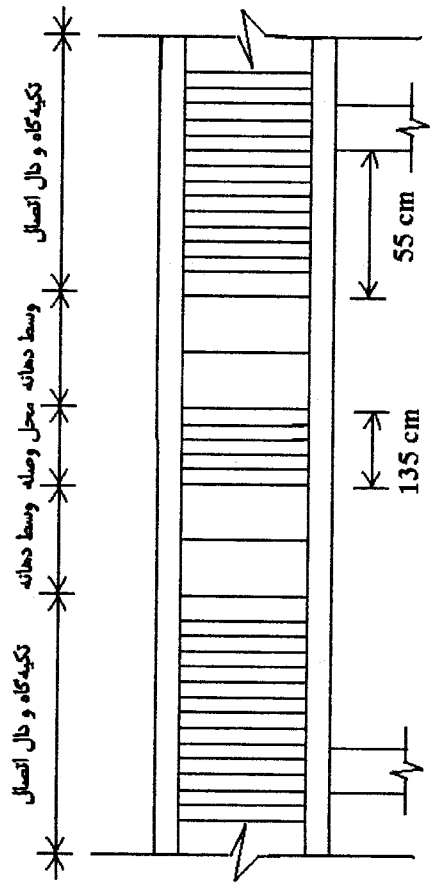
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$\frac{P_u(MAX)}{A_g}=\frac{4838<10^{-3}}{0.55\times0.55}=16$ Mpa با توجه بـه مقـدار فـوق و $\rho=0.016$ و دیـاگرام تـداخلی مربوطه داریم: $\frac{M}{A_g\ell}=1.6$ و یا: $M=1.6\times0.55^2\times0.55\times10^3\approx266$ KN.m با فرض مشابه بودن ستون بالا و پایین تیر داریم: $\sum M_e=2\times266=532$ KN.m برای حرکت به سمت چپ باید لنگر مقاوم منفی تیر را در نظر گرفت. با توجه بـه مثـال یـک، مقـدار M^-_r در تکیه‌گاه A برابر است با: $M^-_r=388$ KN.m $1.2\sum M_g=1.2\times388\approx466<\sum M_e$ O.K.  	ΣM_e (ستون‌ها) $\geq 1.2\ \Sigma M_g$ (تیرها) **تـذکر ۱:** در شـرایط زیـر مـی‌تـوان رابطـه $\sum M_e\geq1.2\sum M_g$ را نادیده گرفت. – چنانچه تعداد ستون‌های موجود در یـک طبقـه در یک قاب بیشتر از چهار عدد باشند، از هر چهار ستون یک ستون می‌تواند رابطـه فـوق را ارضـاء نکند.	۲۰-۵-۲-۴-۲

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		- ستونهای قابها و یک و دو طبقه و نیز ستون‌های طبقه آخر در قابهای چند طبقه می‌توانند رابطه فوق را ارضا نکنند.	۲۰-۵-۲-۴-۳
		تذکر ۲: چنانچه ستونی رابطه $\sum M_e \geq 1.2 \sum M_g$ را ارضا نکند یا باید در تمام طول دارای آرماتورگذاری عرضی ویژه باشد و یا باید از کمک آن به سختی جانبی و مقاومت سازه در برابر بار زلزله صرفنظر شود.	۲۰-۵-۲-۴-۴ ۲۰-۵-۲-۴-۵
		**تذکر ۳:** به خاطر سه بعدی بودن سازه،ستون مورد نظر را باید در قاب عمود بر قاب فوق نیز کنترل نمود. **تذکر ۴:** جمع لنگرها باید چنان صورت گیرد که لنگرهای ستونها در جهت مخالف لنگرهای تیرها قرار گیرند.	۲۰-۵-۲-۴-۱
		گام سوم) محاسبه آرماتورهای عرضی ستون الف- محاسبه سطح مقطع کل تنگ‌های ویژه طول ناحیه بحرانی l_0 که از بر اتصال ستون به اعضای جانبی اندازه‌گیری می‌شود نباید کمتر از مقادیر زیر در نظر گرفته شود: - یک ششم ارتفاع آزاد ستون - ضلع بزرگتر مقطع مستطیل شکل را با قطر مقطع دایره‌ای شکل. - ۴۵ سانتیمتر	۲۰-۵-۲-۳-۱
	$l_o \geq \frac{300}{6} = 50 \text{ cm}$ $l_o \geq 55 \text{ cm}$ $l_o \geq 45 \text{ cm}$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	بنابراین طول l_o باید حداقل برابر ۵۵ سانتیمتر باشد.	قطر میلگردهای عرضی در ناحیه بحرانی نباید کمتر از ۸ میلیمتر و فاصله سفره میلگردها از یکدیگر نباید بیشتر از مقادیر زیر باشد: - یک چهارم ضلع کوچکتر مقطع ستون - هشت برابر کوچکترین قطر میلگرد طولی - ۱۲/۵ سانتیمتر	۲۰-۵-۲-۳-۴
	$S \le \frac{55}{4} = 13.75 \ cm$ $S \le 8 \times 2.8 = 22.4 \ cm$ $S \le 12.5 \ cm$		
	بنابراین S را برابر ۱۰ سانتیمتر در نظر می گیریم.	در ستون های با مقطع مستطیل، سطح مقطع کل تنگ‌های ویژه در هر امتداد، A_{sh} نباید کمتر از دو مقدار زیر باشد:	۲۰-۵-۲-۳-۲
	$A_{sh} \ge 0.30(10 \times 44.6 \times \frac{300}{400}) \times (\frac{55 \times 55}{46 \times 46} - 1)$ $= 4.31 \ cm^2$	$A_{sh} \ge 0.3(s.h_c.\frac{f_c}{f_{yh}})(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1)$	معادله ۲۰-۴
	$A_{sh} \ge 0.09 \times 10 \times 44.6 \times \frac{30}{400} = 3 \ cm^2$	$A_{sh} \ge 0.09s.h_c.\frac{f_c}{f_{yh}}$	معادله ۲۰-۵
	بنابراین از یک حلقه خاموت Φ14 به همراه یک قلاب دوخت Φ14 در هر جهت استفاده می‌شود.	که در آن: h_c = فاصله محور تا محور میلگردهای محصورکننده	۲۰-۰
	$A_{sh} = 3 \times 1.54 = 4.62 \ cm^2$ O.K.	A_{ch} = مساحتی که بر اساس اندازه پشت تا پشت میلگردهای عرضی محاسبه می‌شود.	
		تذکر ۱: می‌توان از قلاب‌های دوخت با قطر و فاصله مشابه تنگ‌ها که دارای خم ۹۰ درجه در یک انتهای آنست استفاده کرد. هر انتهای قلاب دوخت باید در برگیرنده یک میلگرد طولی باشد و محل خم ۹۰ درجه آن باید در امتداد میلگرد طولی یک در میان عوض شود.	۲۰-۵-۲-۳-۵

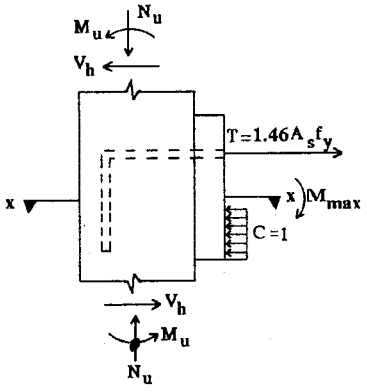
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		تذکر ۲ : در هر مقطع ستون تعداد خاموت‌ها باید طولی باشد کـه هـر یـک از میلگردهـای زیـر،در گوشه یک خاموت با زاویـه داخلـی حـداکثر ۱۳۵ درجه بطور جانبی قرار گیرد: - هر میلگردی که در گوشه عضو واقع شود. - هر میلگرد غیرگوشه‌ای بصورت حداکثر یک در میان - هـر میلگـردی کـه فاصـله آزاد آن تـا میلگـرد محصور شده مجاور بیشتر از ۱۵ سانتیمتر باشد.	۵-۳-۴-۸
		ب- محاسبه آرماتورهای عرضی برای برش برش موجود در ستون را با توجه به لنگر خمشـی منتقل شده از طرف تیرهای متصل به آن بدسـت می‌آوریم.	۳-۱-۵-۵-۲۰
			
	با توجه به مثال یک، برای حالتی که حرکت جانبی بـه سمت چپ باشد مقدار لنگر تیـر برابـر 576.2 KN.m است.	در صورت مساوی بودن مقطع و طول ستون‌ها در طبقه بالا و پایین M مربوط بـه تیـر بـه نسـبت مساوی بین آنها تقسیم می‌شـود و بـه هـر کـدام $\frac{M}{2}$ می‌رسد. بنـابراین V_e از رابطـه زیـر بدسـت می‌آید:	
	$V_e = \frac{\frac{576.2}{2} + \frac{576.2}{2}}{3} = 192 \quad KN$	$V_e = \frac{M_{beam}(top)/2 + M_{beam}(bottom)/2}{h}$	

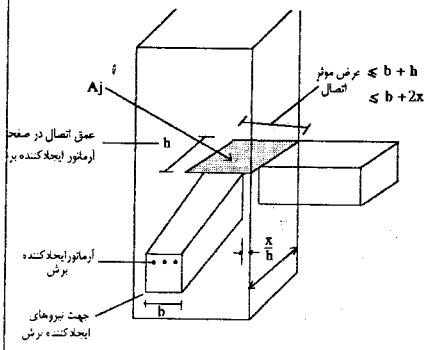
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$V_c = 0.2\times 0.6\times\sqrt{30}\times(1+\frac{4838\times10^{-3}}{12\times0.55\times0.55})$ $\times 0.55\times0.5\times10^3 = 421.6\ KN > V_e$ O.K.	$V_c = 0.2\phi_c\sqrt{f_c}(1+\frac{N_u}{12A_g})b_w d$	۲-۱-۳-۱۲
	بنابراین بتن به تنهایی می‌تواند برش را تحمل کند.	در قسمت‌هایی از طول ستون که آرماتورگذاری عرضی ویژه اجرا نمی‌شود باید آرماتور عرضی به قطر حداقل ۸ میلیمتر بکار برده شود. فاصله این میلگردها از یکدیگر نباشد بیشتر از نصف ضلع کوچکتر مقطع ستون، شش برابر قطر آرماتور طولی و یا ۲۰ سانتیمتر اختیار گردد.	۱۱-۳-۲-۵-۲۰
	$S \le \frac{55}{2} = 27.5$ cm $S \le 6\times 2.8 = 16.8$ cm $S \le 20$ cm بنابراین از خاموت‌های Φ8 به فواصل ۱۵ سانتیمتری استفاده می‌کنیم.		
		تذکر: آرماتورگذاری عرضی ویژه را در داخل اتصال نیز ادامه می‌دهیم.	۱-۲-۴-۵-۲۰
		گام چهارم) محاسبه طول وصله‌های پوششی آرماتورهای قائم ستون. استفاده از وصله پوششی در میلگردهای طولی فقط در نیمه میانی طول ستون مجاز است. طول پوشش این وصله‌ها باید برای وصله‌های کششی در نظر گرفته شود.	۳-۲-۲-۵-۲۰
	$S \le \frac{d}{4} = \frac{50}{4} = 12.5$cm $S \le 10$cm	فواصل سفره‌های در برگیرنده وصله از یکدیگر نباید بیشتر از $\frac{d}{4}$ و یا ۱۰ سانتیمتر اختیار شود	۵-۲-۱-۵-۲۰

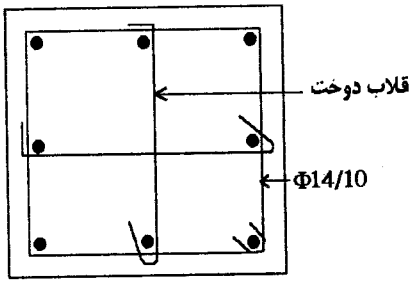
جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
آرماتورگذاری ۷-۳	بنابراین S را در این فاصله برابـر ۱۰ سـانتیمتر فـرض می‌کنیم. طول گیرایی Φ28 با توجه به بنـد (۱۸-۲-۱) برابـر است با: $\ell_d = 115.7 \ \text{cm}$ $1.3\ell_d = 1.3\times 115.7 = 150.4 \ \text{cm}$ بنابراین طول پوشـش را برابـر ۱۵۰ سـانتیمتر در نظـر می‌گیریم.	در وصله‌های پوششی طول پوشش بایـد حـداقل برابر با $1.3\ell_d$ باشد. البته اگر نسبت آرماتور موجود به آرماتور مورد نیاز در ناحیـه پوشـش بزرگتـر از دو باشـد و حـداکثر نصف آرماتور موجود در مقطع وصله شود می‌توان مقدار فوق را برابر ℓ_d گرفت. تذکر: در محاسبه طول گیرایی به ضـوابط بخـش ۲۰-۵-۴-۳ توجه شود ($\ell_d > 2.5\ell_{dh}$)	۱۸-۴-۲-۱
		**گام پنجم)** رسم نقشه جزئیات ستون **تذکر ۱:** نسبت آرماتور طولی حـداکثر در محـل وصله‌ها برابر شـش درصـد و در خـارج از محـل وصله‌ها برابر چهار و نیم درصد می‌باشد. **تذکر ۲:** فاصله محور تا محور میلگردهای طولی از یکدیگر نباید بیشتر از ۲۰ سانتیمتر باشد. **تذکر ۳:** در هر مقطع ستون فاصله قـلاب‌هـای دوخت یا شاخه‌های تنگ‌ها از یکـدیگر در جهـت عمود بر محور طولی سـتون، نبایـد بیشـتر از ۳۵ سانتیمتر باشد. **تـذکر ۴:** در محـل اتصـال سـتون بـه شـالوده آرماتور طولی ستون که به داخل شالوده برده شـد است باید در طولی حداقل برابر با ۳۰ سانتیمتر بـا آرماتورگذاری عرضی ویژه تقویت گردد.	۲۰-۵-۲-۲-۱ ۲۰-۵-۲-۲-۲ ۲۰-۵-۲-۳-۶ ۲۰-۵-۲-۳-۱۰

مثال ۳ طرح اتصالات تیر به ستون کناری سازه با توجه به ضوابط شکل‌پذیری زیاد

آرماتورهای عرضی و مقاومت برشی اتصال تیر به ستون کناری مثال یک را با توجه به ضوابط شکل‌پذیری زیاد طرح نمایید فرض کنید اتصال مورد نظر در طبقه دوم می باشد.

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام اول) محاسبه آرماتورهای عرضی محصورکننده آرماتورهای عرضی ویژه باید در داخل اتصالات نیز ادامه داده شوند.	۲۰-۵-۴-۲-۱
	این اتصال در سه سمت توسط تیرها محصور شده است. بنابراین باید آرماتورهای ویژه بدون هیچگونه تخفیفی در داخل آن ادامه داده شوند.	البته در اتصالاتی که در چهار سمت توسط تیرها محصور شده‌اند و عرض تیرها کمتر از سه چهارم عرضی از ستون که به آن متصل می‌شوند نیستند، باید در طولی به اندازه کوتاه‌ترین ارتفاع تیر در اتصال،آرماتورگذاری عرضی ویژه مساوی با نصف آنچه در ناحیه بحرانی lo گفته شد، بکار برده شود. فاصله آرماتورهای عرضی در این اتصالات را می‌توان تا ۱۵ سانتیمتر افزایش داد.	۲۰-۵-۴-۲-۲
		**گام دوم)** کنترل مقاومت برشی اتصال	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		برش در مقطع x-x از اتصال فوق را باید بـا کـم کردن نیروی کششی آرماتورهای فوقانی تیـر، T از نیروی برشی ستون فوقانی بدست آورد. برای محاسبه نیروی برشی سـتون بـا توجـه بـه مثال دو از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.	
	$T = 1.25 \times 1 \times (6 \times 3.8 \times 10^{-4}) \times 400 \times 10^{3}$ $T = 1139 \ \ KN$		
	با توجه به مثال یک برای حرکت به سمت چپ مقـدار M_{MAX} برابر است با:		
	$M_{MAX} = 576.2 \ \ KN.m$	$V_h = \frac{M_{beam}(top)/2 + M_{beam}(bottom)/2}{h}$	
	$V_h = \frac{576.2}{3} = 192 \ \ KN$		
	$V_u = 1139 - 192 = 947 \ \ KN$	$V_u = T - V_h$	
		برای اتصالات محصور شده در سه سمت داریم:	۳-۱-۴-۵-۲۰
	$V_r = 9 \times 0.55^2 \times (0.2 \times 0.6 \times \sqrt{30}) \times 10^3$	$V_r = 9 A_j (0.2 \phi_c \sqrt{f_c})$	
	$V_r = 1789.4 \ \ KN > V_u$ O.K.		
	در صورتی که V_r کمتر از V_u شود، باید یا سطح مقطع ستون را افزایش داد (افـزایش A_j) و یـا ارتفـاع تیـر را اضافه کرد (کاهش فولاد مورد نیاز و T مربوط به آن).	**تذکر ۱:** برای محاسبه مساحت A_j به شـکل زیر توجه شود.	
			
		تذکر ۲: اتصال مورد نظر باید در قائم عمـود بـر قاب فوق نیز کنترل گردد.	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام سوم) رسم نقشه جزییات اتصال با توجه به اینکه وجود قلاب دوخت Φ14 در داخل اتصال ممکن است مشکلات اجرایی ایجاد نماید. می‌توان آنرا حذف کرد و فقط از یک حلقه خاموت Φ18 به عنوان آرماتور عرضی استفاده نمود. $A_{sh} = 2 \times 2.54 = 5.08 cm^2 > 4.31$ O.K.	
	 **SECA-A**	**تذکر :** آیین‌نامه بتن ایران اجازه نمی‌دهد که فاصله قلاب‌های دوخت یا شاخه‌های تنگ‌ها از یکدیگر در جهت عمود بر محور طولی ستون از ۳۵ سانتیمتر بیشتر شود. البته چون اتصال فوق از سه طرف توسط تیرها محصور شده است در هنگام پیشنهاد استفاده از خاموت Φ18 به این محدودیت توجه نشده است.	۲۰-۵-۲-۳-۶

مثال ۴ طرح اتصالات تیر به ستون میانی سازه با توجه به ضوابط شکل‌پذیری زیاد

آرماتورهای عرضی و مقاومت برشی اتصال تیر به ستون میانی مثال یک را با توجه به ضوابط شکل‌پذیری زیاد طرح نمایید.

مشخصات :

ابعاد ستون $c_1 \times c_2 = 65\ cm^2$

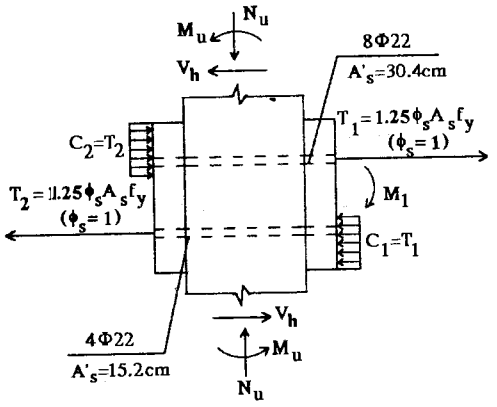
$f_c = 300\ MPa$

$f_y = 400\ MPa$

آرماتورهای طولی $8\ \Phi\ 34$

ابعاد تیر $b \times d = 50 \times 55\ cm^2$

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام اول) محاسبه آرماتورهـای عرضـی محصـورکننده فاصله خاموت‌هـا از یکـدیگر نبایـد بیشـتر از مقادیر زیر باشد:	۲۰-۵-۲-۳-۴
	$S \le \frac{65}{4} = 16.25\ cm$	– یک چهارم ضلع کوچکتر مقطع ستون	
	$S \le 8 \times 3.4 = 27.2\ cm$	– هشت برابر کوچکترین قطر میلگرد طولی	
	$S \le 12.5\ cm$	– ۱۲/۵ سانتیمتر	
	بنابراین S را برابر ۱۲ سانتیمتر در نظر می گیریم.		
		تذکر : استفاده از وصـله‌هـای پوششـی در مـورد میلگردهای بـا قطـر کمتـر از ۳۶ میلیمتـر مجـاز است. بنابراین میلگردهـای طـولی حـداکثر قطـر مجاز را دارا می‌باشند.	۱۸-۴-۱-۲

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$A_{sh} \geq 0.3(12 \times 54.6 \times \frac{30}{400}) \times (\frac{65 \times 65}{56 \times 56} - 1)$ $A_{sh} = 5.12 \ cm^2$ $A_{sh} \geq 0.09 \times 12 \times 54.6 \times \frac{30}{400} = 4.42 \ cm^2$ $\frac{3}{4} C_l = \frac{3}{4} \times 65 = 47.75 < b = 50cm$ O.K. بنابراین : $A_{sh} = \frac{1}{2} \times 5.12 = 2.56 \ cm^2$ اگر S را بجای ۱۲ سانتیمتر برابر ۱۵ سانتیمتر افرض کنیم خواهیم داشت: $A_{sh} = 2.56 \times \frac{15}{12} = 3.2cm^2$ بنابراین از یک حلقه خاموت Φ16 به فواصل ۱۵ سانتیمتر استفاده می‌شود. $A_{sh} = 2.01 \times 2 = 4.02cm^2$ O.K. (به آخرین تذکر مثال سه توجه شود)	$A_{sh} \geq 0.3(s.h_c.\frac{f_c}{f_{yh}})(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1)$ $A_{sh} \geq 0.09 s.h_c.\frac{f_c}{f_{yh}}$ در اتصالاتی که از چهار طرف توسط تیرها محصور شده‌اند و عرض تیرها کمتر از سه چهارم عرضی از ستون که به آن متصل می‌شوند نیستند، باید در طولی به اندازه کوتاه‌ترین ارتفاع تیر در اتصال آرماتورگذاری عرضی ویژه مساوی با نصف میلگردهای ناحیه بحرانی، l_o بکار برده شود. فاصله آرماتورهای عرضی در این اتصالات را می‌توان تا ۱۵ سانتیمتر افزایش داد.	معادله ۲۰-۴ معادله ۲۰-۵ ۲۰-۵-۴-۲-۲
		**گام دوم)** کنترل مقاومت برشی اتصال	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	با توجه به گام چهارم از مثال یک داریم: $M_1 = 745 \ KN.m$ $M_2 = 395.6 \ KN.m$ حال T_1 و T_2 و T_h را محاسبه می‌کنیم. $T_1 = 1.25 \times 1 \times (30.4 \times 10^{-4}) \times 400 \times 10^3$ $T_1 = 1520 \ KN$ $T_2 = C_2 = \frac{1}{2} T_1 = 760 \ KN$	$V_h = \frac{M_1 + M_2}{h}$ به توضیحات گام سوم (قسمت ب) از مثال دو توجه شود.	
	$V_h = \frac{745 + 395.6}{3} = 380.2 \ KN$		
	$V_u = 1520 + 760 - 380.2 = 1899.8 \ KN$	$V_u = T_1 + C_2 - V_h$	
		تذکر: V_h فرمول بالا مربوط به ستون فوقانی است. برای اتصالات محصور شده در چهار سمت داریم:	۳-۱-۴-۵-۲۰
	$V_r = 12 \times 0.65^2 \times (0.2 \times 0.6 \times \sqrt{30}) \times 10^3$ $V_r = 3332 \ KN > V_u$ O.K.	$V_r = 12 A_j (0.2 \varphi_c \sqrt{f_c})$	

مثال ۵ طرح دیوارهای برشی سازه با توجه به ضوابط شکل‌پذیری زیاد

دیوار برشی شکل زیر را با توجه به ضوابط شکل‌پذیری زیاد طرح نمایید. پس از طراحی اولیه ضخامت دیوار ۵۰ سانتیمتر و ابعاد اجزای لبه ۱۲۵×۸۰ سانتیمتر مربع و آرماتورهای طولی اجزای لبه 34 Φ 30 در نظر گرفته شده‌اند.

مشخصات :

$f_c = 30$ MPa

$f_y = 400$ MPa

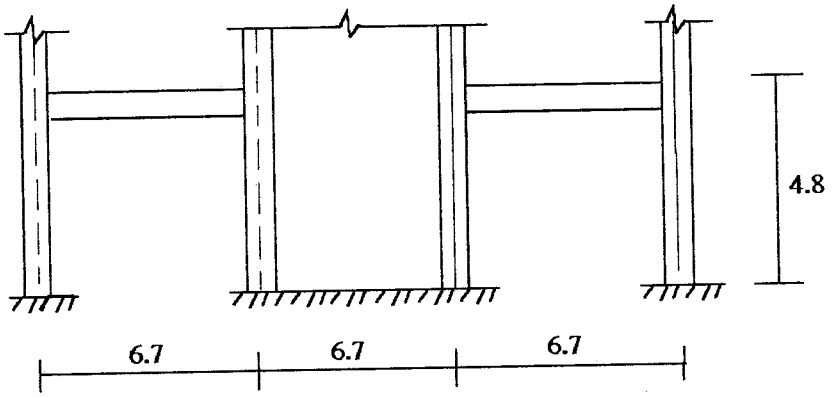
$P_D = 13694$ KN (بارهای وارد بر دیوار)

$P_L = 1760$ KN

$M_E = 45135$ KN.m

$V_E = 2835$ KN

$h_w = 45$ m ارتفاع کل دیوار



جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام اول) کنترل ابعاد دیوار در دیوارهای سازه‌ای محدودیت هندسی زیر باید رعایت شوند:	۲۰-۵-۳-۱-۱
	$t = 50$ cm > 15 cm O.K.	- ضخامت دیوار نباید کمتر از ۱۵ سانتیمتر اختیار شود.	
	$C_1 = 80$ cm > 30 cm O.K.	- عرض جزء لبه نباید کمتر از ۳۰ سانتیمتر در نظر گرفته شود.	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام دوم) محاسبه تلاش‌های نهایی ترکیبات مختلف بارگذاری عبارتند از: $U_1 = 1.25\ D + 1.5\ L$ $U_2 = D + 1.1\ L \pm 1.2\ E$ $U_3 = 0.85\ D \pm 1.2\ E$ نحوه محاسبه حداکثر نیروی محوری فشاری اجـرای لبـه (P=-15987KN) را در زیـر می‌آوریم: $P_u = P_D + 1.2\ P_L + 1.2\ P_E$ $M_u = M_D + 1.2\ M_L + 1.2\ M_E$ $P = \frac{P_u}{2} + \frac{M_u}{\ell}$ منظور از ℓ فاصله محور تا محور اجـرای لبـه دیوار است. **تذکر:** چون مرکز دیوار و مرکز سازه بـر هـم منطبق می‌باشند، در هنگام زلزله نیروی محور در دیوار ایجاد نشده است.	
	$P_u = 13694 + 1.2 \times 760 \pm 0 = 1580\ KN$ $M_u = 0 + 0 + 1.2 \times 45135 = 54162\ KN.m$ $P = \frac{15806}{2} + \frac{54162}{6.7} = 15987\ KN$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		گام سوم) کنترل لازم بودن المان‌های مرزی اگر تنش فشاری بتن در دورترین تار فشاری مقطع دیوار تحت اثر بارهای نهایی،به انضمام اثر زلزله، از $0.2f_c$ بیشتر باشد باید از اجزای لبه استفاده نمود. مگر آنکه در تمام طول دیوار آرماتورگذاری ویژه پیش‌بینی شده باشد. اجزای لبه را می‌توان در قسمت‌هایی که تنش فشاری بتن در آنها از $0.15f_c$ کمتر باشد قطع کرد. $f = \frac{P_u}{A} + \frac{M_u C}{I}$	۱-۳-۳-۵-۲۰
	طول دیوار = $6.7 + 1.25 = 7.95$ m $I = \frac{0.5 \times 7.95^3}{12} = 20.94 \ m^2$ $A = 7.95 \times 0.5 = 3.975 \ m^2$ $C = \frac{7.95}{2} = 3.975 \ m$ برای ترکیب U_2 داریم : $P_u = 15806KN \ , M_u = 54162 \ KN.m$ بنابراین : $f = \frac{15806 \times 10^{-3}}{3.975} + \frac{54162 \times 10^{-3} \times 3.975}{20.94} = 14.26 \ Mpa$ $0.2 f_c = 0.2 \times 30 = 6 \ MPa < f$ پس باید از اجزای لبه استفاده کرد.		
	با توجه به گام اول داریم: $V_u = 3402 \ KN$	**گام چهارم)** تعیین حداقل فولاد مورد نیاز طولی و عرضی دیوار الف- کنترل لازم بودن دو شبکه آرماتور در دیوارهایی که نیروی برشی نهایی در مقطع آنها از $0.2\phi_c \sqrt{f_c} A_{cv}$ بیشتر است بکارگیری دو شبکه آرماتور الزامی است.	۴-۲-۳-۵-۲۰

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$0.2\phi_c\sqrt{f_c}A_{cv} = 0.2\times0.6\times\sqrt{30}\times7.95\times0.5\times10^3$ $= 2613$ KN	منظور از A_{cv} مساحت خالص مقطع بتن محدود به ضخامت جان و طول مقطع در جهت نیروی برشی مورد نظر می‌باشد.	
	بنابراین: $V_u > 0.2\phi_c\sqrt{f_c}A_{cv}$ پس بکارگیری دو شبکه آرماتور الزامی است.	ب – محاسبه آرماتورهای طولی و عرضی مورد نیاز در دیوار.	
	با توجه به قسمت الف داریم: $0.5A_{cv}(0.2\phi_c\sqrt{f_c}) = 0.5\times2613 = 1158KN < V_u$	در دیوارهای سازه‌ای نسبت آرماتور در هیچ یک از دو امتداد قائم و افقی نباید کمتر از ۰/۰۰۲۵ باشد. البته اگر نیروی برشی نهایی موجود در مقطع دیوار از $0.5A_{cv}(0.2\phi_c\sqrt{f_c})$ کمتر باشد برای حداقل آرماتور مورد نیاز در دیوار باید ضوابط بند (۱۶-۴) رعایت شوند.	۲۰-۵-۳-۲-۱
	بنابراین: $\rho_v = \rho_n = 0.0025$ و حداقل فولاد مورد نیاز در طول یک متر از دیوار برابر است با: $A_{s\,min} = 0.0025\times50\times100 = 12.5\ cm^2/m$		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	اگر از دو شبکه آرماتور Φ16 استفاده کنیم ($A_s = 2.01\ cm^2$) خواهیم داشت: $S_{req} = \frac{2\times 2.01}{2.5}\times 100 = 32.16cm < 35$ O.K. بنابراین از Φ16/30 در فولادگذاری حداقل استفاده می‌کنیم.	فاصله محور تا محور میلگردها از یکدیگر در هر دو امتداد قائم و افقی نباید بیشتر از ۳۵ سانتیمتر اختیار شود.	۲۰-۵-۳-۲-۳
	$A_{cp} = 7.95 \times 0.5 = 3.975\ m^2$ $5A_{cp}(0.2\phi_c\sqrt{f_c}) = 5\times 3.975\times(0.2\times 0.6\times\sqrt{30})\times 10^3$ $= 3063\ KN > V_u$ O.K. $\frac{h_w}{\ell_w} = \frac{45}{7.95} = 5.66 > 2$ بنابراین: $\alpha_c = 1$ با فرض استفاده از Φ16/30 داریم. $\rho_n = \frac{2\times 2.01}{50\times 30} = 0.00268$	**گام پنجم)** تعیین آرماتورهای لازم برای تحمل برش مقاومت برشی نهایی مقطع در هر پایه دیوارگونه نباید بیشتر از $5A_{cp}(0.2\phi_c\sqrt{f_c})$ منظور گردد. A_{cp} سطح مقطع پایه دیوارگونه است. مقاومت برشی نهایی مقطع V_r با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود: $V_r = A_{cv}\,(0.2\phi_c\sqrt{f_c}\alpha_c + \phi_s\rho_n f_y)$ در این رابطه α_c ضریبی است که به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود.: اگر $h_w / \ell_w \geq 2$ باشد : $\alpha_c = 1$ اگر $h_w / \ell_w \geq 1.5$ باشد : $\alpha_c = 1.5$ اگر h_w / ℓ_w بین ۱/۵ و ۲ باشد ضریب α_c با درون‌یابی خطی بین اعداد فوق تعیین می‌شود.	۲۰-۵-۵-۲-۵ ۲۰-۵-۵-۲-۵

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$V_r = 7.95\times0.5\times(0.2\times0.6\times\sqrt{30}\times1+0.85\times0.00268\times400)\times10^3$ $V_r = 6235 \ \ KN$ $0.7\times V_r = 4364.5 \ KN > V_u = 3402KN$ O.K. بنابراین از دو شبکه آرماتور $\Phi16/30$ در دو جهت قائم و افقی استفاده می‌کنیم.	در دیوارهای سازه‌ای، کنترل حالت حدی نهایی مقاومت در برش باید بر اساس رابطه زیر صورت گیرد. $V_u \le 0.7 \times V_r$ تذکر: در مواردیکه نسبت $\frac{h_w}{\ell_w}$ کمتر از ۲ است نسبت آرماتور قائم، ρ_v نباید کمتر از نسبت آرماتور افقی برشی، ρ_n در نظر گرفته شود.	۲۰-۵-۵-۲-۱
	با توجه به گام دوم داریم: $P^-(MAX) = -15987 \ KN$ (فشاری) $P^-(MAX) = +2264 \ KN$ (کششی) ابعاد اجزای لبه ۱۲۵×۸۰ سانتیمتر مربع و آرماتورهای طولی آن $30\Phi34$ می‌باشند. بنابراین: $A_g = 0.8\times1.25 = 1 \ m^2$ $A_{st} = 30\times9.08\times10^{-4} = 272.4\times10^{-4} \ m^2$ $\rho_{st} = \frac{272.4\times10^{-4}}{1} = 0.0272$ $\rho_{st} > \rho_{min} = 0.01$ O.K. $\rho_{st} < \rho_{max} = 0.04$ O.K.	گام ششم) کنترل اجزای لبه اجزای لبه در دیوارها باید در حالت حدی نهایی مقاومت برای مجموع بارهای قائم وارد به دیوار شامل بارهای اجزای مرتبط با دیوار و وزن دیوار و نیروی محوری ناشی از لنگر واژگونی حاصل از نیروهای جانبی زلزله طراحی می‌شوند. استفاده از وصله‌های پوششی در مورد میلگردهای با قطر کمتر از ۳۶ میلیمتر مجاز است. بنابراین میلگردهای طولی اجزای لبه حداکثر قطر مجاز را دارا می‌باشند.	۲۰-۵-۳-۳-۲ ۱۸-۴-۱-۲

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		نسبت آرماتور قائم در هیچ ناحیه از طول دیوار نباید از چهار درصد بیشتر باشد.	۲۰-۵-۲-۲-۱
		نیروی محوری فشاری قابل تحمل اجزای لبه، مانند ستون‌های تحت اثر فشار محوری، از فرمول زیر محاسبه می‌شود:	۲۰-۵-۳-۲-۲
	$\rho_{r(MAX)} = 0.8\times[0.85\times0.6\times30\times(1-272.4\times10^{-4}) + 0.85\times400\times272.4\times10^{-4})\times10^{3}$	$\rho_{r(MAX)} = 0.8[0.85\phi_c.f_c.(A_g - A_{st}) + \phi_s.f_y.A_{st}]$	۱۱-۴-۳
	$\rho_{r(MAX)} = 19316KN > P^{-}_{(MAX)}$ O.K.	اگر در اجزای لبه کشش ایجاد شود باید تمام نیرو را میلگردها تحمل کنند. یعنی:	
	$\phi_s.A_{st}.f_y = 0.85\times272.4\times10^{-4}\times400\times10^{3}$ $= 9262KN > P^{+}_{(MAX)}$ O.K	$P^{+}_{(MAX)} \le \phi_c.A_{st}.f_y$	
		تذکر: در اجزای لبه فاصله میلگردهای قائم نباید بیشتر از ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شود.	۲۰-۵-۳-۲-۳
		گام هفتم)	
		محاسبه میلگردهای عرضی محصورکننده اجزای لبه	
		اجزای لبه باید در سراسر طول خود دارای آرماتورگذاری عرضی ویژه باشند.	۲۰-۵-۳-۳-۴
		قطر میلگردهای عرضی ویژه نباید کمتر از ۸ میلیمتر و فاصله سفره میلگردها از یکدیگر نباید بیشتر از مقادیر زیر باشد:	۲۰-۵-۲-۳-۴
	$S \le \frac{80}{4} = 20$ cm	- یک چهارم ضلع کوچکتر جزء لبه	
	$S \le 8\times3.4 = 27.2$ cm	- هشت برابر کوچکترین قطر میلگرد طولی	
	$S \le 12.5$ cm	- ۱۲/۵ سانتیمتر	
	بنابراین S را برابر ۱۲/۵ سانتیمتر در نظر می گیریم.		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	با فرض استفاده از خاموت‌های Φ16 و وجود ۴/۵ سانتیمتر پوشش بتنی روی میلگردها، برای جهت کوچکتر داریم:	الف- محاسبه آرماتورهای جهت کوتاه‌تر	
	$h_c = 125-4.5\times2-1.6=114.4\ cm$	در اجزای لبه با مقطع مستطیل سطح مقطع کل تنگ‌های ویژه در هر امتداد A_{sh} نباشد کمتر از دو مقدار زیر باشد:	۲-۳-۲-۵-۲۰
	و		
	$A_{ch} = (125-4.5\times2)(80-4.5\times2) = 8236\ cm^2$		
	$A_{sh} \geq 0.3(12.5\times114.4\times\frac{30}{400})\times(\frac{125\times80}{8236}-1)$ $A_{sh} = 6.89\ cm^2$	$A_{sh} \geq 0.3(s.h_c.\frac{f_c}{f_{yh}})(\frac{A_g}{A_{ch}}-1)$	معادله ۲۰-۴
	$A_{sh} \geq 0.09\times12.5\times114.4\times\frac{30}{400} = 9.65\ cm^2$	$A_{sh} \geq 0.09s.h_c.\frac{f_c}{f_{yh}}$	معادله ۲۰-۵
		که در آن:	
	بنابراین از یک حلقه خاموت Φ16 به همراه یک قلاب دوخت Φ16 در هر جهت استفاده می‌شود.	h_c = فاصله محور تا محور میلگردهای محصورکننده	۲۰-۰
		A_{ch} = مساحتی که بر اساس اندازه پشت تا پشت میلگردهای عرضی محاسبه می‌شود.	
	$A_{sh} = 5\times2.01 = 10.05cm^2$ O.K.	می‌توان از قلاب‌های دوخت با قطر و فاصله مشابه تنگ‌ها که دارای خم ۹۰ درجه در یک انتهای آنست استفاده کرد. هر انتهای قلاب دوخت باید در برگیرنده یک میلگرد طولی باشد و محل خم ۹۰ درجه آن باید در امتداد میلگرد طولی یک در میان عوض شود.	۲۰-۵-۲-۳-۵
	$h_c = 80-4.5\times2-1.6=69.4\ cm$	ب- محاسبه آرماتورهای جهت بلندتر	
	$A_{ch} = (125-4.5\times2)(80-4.5\times2) = 8236\ cm^2$		
	$A_{sh} \geq 0.3(12.5\times69.4\times\frac{30}{400})\times(\frac{125\times80}{8236}-1)$ $A_{sh} = 4.18\ cm^2$	$A_{sh} \geq 0.3(s.h_c.\frac{f_c}{f_{yh}})(\frac{A_g}{A_{ch}}-1)$	معادله ۲۰-۴
	$A_{sh} \geq 0.09\times12.5\times69.4\times\frac{30}{400} = 5.86\ cm^2$	$A_{sh} \geq 0.09s.h_c.\frac{f_c}{f_{yh}}$	معادله ۲۰-۵

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	بنابراین از یک حلقه خاموت Φ16 به همراه یک قلاب دوخت Φ16 در هر جهت استفاده می‌شود. $A_{sh} = 3 \times 2.01 = 6.03 cm^2$ O.K.		
		گام هشتم) محاسبه طول گیرایی و طول پوششی آرماتورها کلیه میلگردهای ممتد در دیوارهای سازه‌ای باید به عنوان میلگردها کششی مطابق ضوابط بند (۲۰-۵-۴-۳) مهار یا وصله شوند. الف- طول وصله برای میلگردهای قائم Φ34 در اجزای لبه. طول وصله‌های پوششی برابر $1.3l_d$ می‌باشد. برای محاسبه l_d با توجه به ضوابط بخش ۱۸-۲-۲ به طریق زیر عمل می‌شود:	۲۰-۵-۳-۲-۶ ۱۸-۴-۲-۱
	$f_{bd} = 0.65\sqrt{30} = 3.56 MPa$ ضریب a_1 برای میلگردهای بیشتر از ۲۰ میلیمتر برابر ۰/۸ است. $f_b = 0.8 \times 0.85 \times 3.56 = 2.42$ $\ell_{dh} = \frac{3.4 \times 400}{4 \times 2.42} = 140.5$ $\ell_d = 1 \times 1 \times 1 \times 140.5 = 140.5$	$f_{bd} = 0.65\sqrt{f_c}$ برای میلگردهای با قطر بیشتر از ۲۵ میلیمتر داریم: $f_b = \lambda_1 \lambda_2 . f_{bd}$ $\ell_{dh} = \frac{d_b . f_y}{4 f_b}$ $\ell_{dl} = K_1 . K_2 . K_3 . \ell_{db}$ برای محاسبه l_d با توجه به ضوابط بخش ۲۰-۵-۴-۳ به طریق زیر عمل می‌شود:	

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
	$f_b = 2 \times 3.56 = 7.12$ MPa	$f_b = 2 f_{bd}$	۱-۳-۴-۵-۲۰
	$\ell_{dh} = \frac{3.4 \times 400}{4 \times 7.12} = 47.75$ cm	$\ell_{dh} = \frac{d_b . f_y}{4 f_b}$ (قلاب ۹۰ درجه)	معادله ۱۸-۲
	$\ell_{d2} = 2.5 \times 47.75 = 119.375$	$\ell_{d2} = 2.5\ l_{dh}$	۳-۳-۴-۵-۲۰
	بنابراین :		
	$\ell_d = 140.5$ cm	$\ell_d = \text{MAX}\ (l_{d1} . l_{d2})$	
	طول پوشش = $1.3 \times 140.5 = 182.6$		
	طول وصله را برابر 185 سانتیمتر در نظر می‌گیریم.		۲-۱-۴-۱۸
		تذکر: برای میلگردهای بزرگتر از Φ34 نمی‌توان از وصله‌های پوشش استفاده کرد.	
	$f_{bd} = 0.65\sqrt{30} = 3.56$ Mpa	ب- طول وصله برای میلگردهای قائم Φ16 در جان دیوار.	
	$f_b = 0.8 \times 1 \times 3.56 = 2.84$Mpa	ابتدا l_d را با توجه به ضوابط بخش ۱۸-۲-۲ محاسبه می‌کنیم.	
	$\ell_{db} = \frac{1.6 \times 400}{4 \times 2.84} = 56.3$		
	برای و f_c=30MPa و f_y=400MPa و Φ16 داریم:	برای محاسبه l_d با توجه به ضوابط بخش ۲۰-۵-۴-۳ به طریق زیر عمل می‌شود.	
	$\ell_{d1} = 56.3$		
	$f_{bd} = 0.65\sqrt{30} = 3.56$ Mpa	$f_{bd} = 0.65\sqrt{f_c}$	معادله ۱۸-۴
	$f_b = 2 \times 3.56 = 7.12$ Mpa	$f_b = 2 f_{bd}$	۱-۳-۴-۵-۲۰
	$\ell_{dh} = \frac{1.6 \times 400}{4 \times 7.12} = 22.47$ cm	$\ell_{dh} = \frac{d_b . f_y}{4 f_b}$	معادله ۱۸-۲
	$\ell_{d2} = 2.5 \times 22.47 = 56.2$ cm	$\ell_{d2} = 2.5\ l_{dh}$	۳-۳-۴-۵-۲۰
	$\ell_d = 56.3$ cm	$\ell_d = \text{MAX}\ (l_{d1} . l_{d2})$	۱-۲-۴-۱۸
	طول پوشش = $1.3 \times 56.2 = 73$ cm	طول پوشش = $1.3\ l_d$	
	طول وصله را برابر ۷۵ سانتیمتر در نظر می‌گیریم.		

جداول کمکی	محاسبات	روش	بند آیین‌نامه
		پ- طول گیرایی برای میلگردهای افقی با این فرض که در انتهای آن قلاب وجود ندارد. با توجه به اینکه در هر مرحله بتن‌ریزی بیش از ۳۰ سانتیمتر بتن تازه در زیر اکثر میلگردهای افقی قرار می‌گیرد، در محاسبه طول گیرایی، تمام آنها را میلگردهای فوقانی فرض می‌کنیم.	
	برای و f_c=30MPa و f =400MPa و Φ16 داریم:	ابتدا ℓ_d با توجه به ضوابط بخش ۱۸-۲-۲ محاسبه می‌شود.	
	$\ell_{d1} = 73.19$		
		برای محاسبه ℓ_d با توجه به ضوابط بخش ۲۰-۵-۴-۳ از قسمت پ استفاده می‌کنیم.	
	$\ell_{d2} = 2.5 \times 22.47 = 78.6$ cm	$\ell_{d2} = 3.5\ l_{dh}$ (میلگرد فوقانی)	۲۰-۵-۴-۳-۳
	بنابراین : $\ell_d = 78.6$ cm	$\ell_d = MAX\ (l_{d1}\ .\ l_{d2})$	
	طول مهاری را برابر ۸۰ سانتیمتر در نظر می‌گیریم. با توجه به اینکه طول اجزای لبه ۱۲۵ سانتیمتر می‌باشد، می‌توان میلگردهای افقی با طول مهاری ۸۰ سانتیمتر را مستقیماً در داخل بتن محصور شده اجزای لبه قرار داد و نیازی به قلاب در آن ندارد.		