



طراحی ستون بتنی؛ محاسبه تعداد میلگرد در ستون همراه با ۲ ویدئو جامع

گروه صنعتی
سبزسازه

مقدمه

همان طور که می دانید ستون بتنی به عنوان یکی از اعضای اصلی سازه و انتقال دهنده ی بارهای فشاری به فونداسیون، اهمیت به سزایی دارد. اما آیا روش طراحی ستون بتنی مورد استفاده ما بر روی تیپ بندی ستون اثرگذار خواهد بود؟

ما در این مقاله جامع گام به گام طراحی ستون بتنی و نحوه محاسبه تعداد میلگرد در هر ستون را به شما آموزش خواهیم داد. برای درک بهتر شما ویدئو فوق العاده ای را ضبط کرده ایم که تمامی نکات مطرح شده در متن مقاله را به صورت واضح بیان می کند. شما می توانید در انتهای همین صفحه این ویدئو کاملاً کاربردی را دانلود کنید.

نام مقاله: طراحی ستون بتنی؛ محاسبه تعداد میلگرد در ستون همراه با ۲ ویدئو جامع
نویسنده: مهندس علی پابخش، مهندس امیر صفی زاده
ناظر علمی: مهندس آرزو محمدی
ناشر: سبزسازه
نسخه: دوم خرداد ماه ۱۴۰۰



نشانی دفتر مرکزی: تهران، خیابان مطهری، خیابان ملایری پور غربی،

پلاک ۱۰۲، طبقه ۵، واحد ۱۳

نشانی دفتر آموزش: بیرجند، پاسداران ۳۵، بلوک ۲، واحد ۸

تلفن: ۰۵۶۳۲۰۴۴۴۴۰

کد پستی: ۹۷۳۵۱۱۴۸۸۴

پرسش و پاسخ درباره این کتاب:

<https://sabzsaze.com/typical-of-columns>

حق چاپ و نشر محفوظ و مخصوص ناشر می باشد. لذا هرگونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب بدون ذکر نام سبزسازه ممنوع بوده، شرعاً حرام است و پیگرد قانونی دارد.



فهرست مطالب

صفحه

۱ طراحی ستون بتنی مطابق آیین نامه	۳
۲ محاسبه ابعاد ستون بتنی	۳
۱.۲ حداقل ابعاد ستون بتنی	۴
۲.۲ ابعاد ستون بتنی در یک ساختمان سه طبقه	۶
۳ میلگرد گذاری ستون بتنی	۱۰
۴ میلگرد گذاری طولی ستون بتنی	۱۱
۱.۴ حداقل تعداد میلگرد طولی در ستون	۱۱
۲.۴ حداقل و حداکثر درصد تعداد میلگرد در ستون بتنی	۱۲
۳.۴ حداقل فاصله بین میلگردهای طولی ستون بتنی	۱۳
۴.۴ محاسبه تعداد میلگرد طولی ستون در ۳ گام	۱۴
۱.۴.۴ گام اول: نحوه محاسبه آرماتور طولی ستون ها در ETABS	۱۴
۲.۴.۴ گام دوم: نکات اجرایی میلگرد گذاری ستون بتنی	۱۵
۳.۴.۴ گام سوم: محاسبه تعداد و سائز آرماتورهای طولی ستون بتنی	۱۸
۵ آرماتور گذاری عرضی ستون بتنی	۱۸
۱.۵ ضوابط و نحوه خاموت گذاری در ستون	۱۸
۲.۵ ضوابط آیین نامه ای محاسبه آرماتور عرضی در ستون بتنی	۲۰
۳.۵ طول ناحیه بحرانی در ستون	۲۳
۴.۵ فاصله میلگردهای عرضی در ستون	۲۳
۵.۵ محاسبه تعداد آرماتور عرضی در سه گام	۲۴
۱.۵.۵ گام اول: نحوه محاسبه میلگرد عرضی ستون در Etabs	۲۵
۲.۵.۵ گام دوم: نکات اجرایی خاموت های ستون:	۲۶
۳.۵.۵ گام سوم: محاسبه تعداد میلگرد عرضی در ستون:	۲۶
۶ طراحی دستی ستون بتنی	۲۷
۱.۶ بررسی حداقل ابعاد مقطع	۲۸
۲.۶ بررسی دیاگرام و ترکیب لنگرها	۲۹
۳.۶ بررسی نتایج حاصله با استفاده از روش بار معکوس:	۳۲
۷ ناگفته های ستون بتنی	۳۶
۸ نتیجه گیری	۳۹

۱ طراحی ستون بتنی مطابق آیین نامه

در همین ابتدا در نظر داشته باشید که در ساخت و سازهای رایج کشورمان، از اسکلت بتن آرمه به صورت سیستم قاب خمشی با شکل پذیری متوسط استفاده می شود. ما نیز در این مقاله با توجه به این موضوع، ضوابط محاسبه آرماتورهای قاب خمشی بتنی با شکل پذیری متوسط را مد نظر قرار داده ایم. و توضیحات لازم جهت طراحی ستون بتنی را بر طبق آخرین آپدیت های آیین نامه های مقررات ملی ساختمان بیان کرده ایم.



شکل ۱: ستون بتنی

۲ محاسبه ابعاد ستون بتنی

به طور کلی در سازه های بتنی با قاب خمشی، ستون ها تأثیر بسیار زیادی در رفتار کلی سازه دارند؛ لذا توصیه می شود تیپ بندی اولیه ستون ها قبل از تیپ بندی تیرها انجام شود. در تیپ بندی اولیه عموماً به دنبال تعیین ابعاد مقطع ستون ها بوده و تعیین تعداد و سبب آرماتورهای آن را به تیپ بندی نهایی موکول خواهیم نمود. برای محاسبه ابعاد ستون های بتنی باید ضوابط و الزامات زیادی را در نظر بگیریم تا ستون بتنی طراحی شده بتواند در شرایط مورد نظر ما به خوبی از پس تحمل بارهای وارده بر بیاید. همچنین محاسبه ابعاد ستون بتنی از جهت اجرایی نیز حائز اهمیت می باشد تا ستون بتنی طراحی شده به خوبی از قابلیت اجرا برخوردار باشد. برای مثال می توان گفت اگر ما ابعاد استاندارد را برای ستون بتنی خود در نظر نگیریم و یا اختلاف ابعاد در دو بعد ستون بتنی از هم کم باشند این موضوع کار را در هنگام اجرا و ساخت ستون سخت می کند.



شکل ۲: اجرای ستون بتنی

۱.۲ حداقل ابعاد ستون بتنی

برای اینکه بدانیم حداقل ابعاد ستون بتنی با شکل پذیری متوسط قابل به چه اندازه است باید به آیین نامه مبحث نهم مراجعه کنیم. این آیین نامه در قسمت ضوابط ویژه برای طراحی در برابر زلزله و در بند ۹-۲۰-۵-۳-۱ محدودیت های هندسی ستون های بتنی در قاب با شکل پذیری متوسط را بدین گونه بیان می کند:

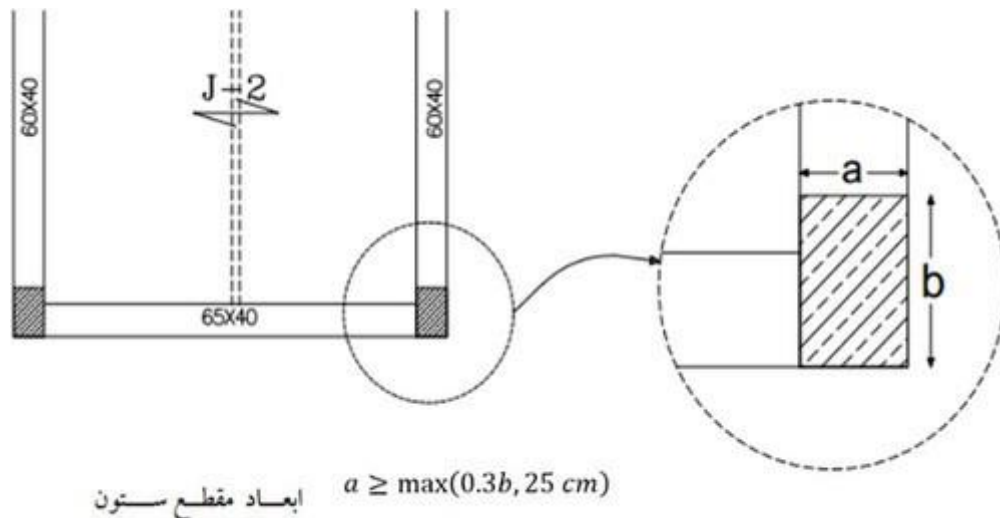
۹-۲۰-۵-۳ ستون ها در قاب های با شکل پذیری متوسط

۹-۲۰-۵-۳-۱ محدودیت های هندسی

۹-۲۰-۵-۳-۱-۱ در ستون ها محدودیت های هندسی (الف) و (ب) این بند باید رعایت شوند:
الف- عرض مقطع نباید کمتر از سه دهم بعد دیگر آن، و نیز نباید کمتر از ۲۵۰ میلی متر باشد.
ب- نسبت عرض مقطع به طول آزاد عضو نباید از $\frac{1}{14}$ کمتر باشد.

با توجه به آیین نامه های بارگذاری و پهنه بندی کشور در خطر زلزله، ابعاد استاندارد ستون ها برخلاف تیرها، در اکثر طراحی خود به خود رعایت می گردد. هرچند که این محدودیت های هندسی پیچیدگی خاصی ندارند، ولی بهتر است آن ها را کمی بیشتر تشریح کنیم:

الف. در این بند از آیین نامه برای طراحی ستون بتنی حداقل ابعاد ستون ذکر شده است. از جمله دلایل وجود این حداقل ابعادی به مواردی از قبیل: عدم تأمین طول مهار میله های طولی تیرها در داخل ستون، آرماتورگذاری دشوار (به خصوص خاموت گذاری ستون بتنی)، افزایش لاغری مقطع و بالا رفتن احتمال کمانش ستون تحت بارهای ثقیل و ... اشاره کرد. در ستون های رایج که عمدتاً مربعی هستند، ضوابط هندسی معمولاً ارضای می شوند. اهمیت این محدودیت های هندسی زمانی پررنگ تر می شود که به جای ستون های مربعی، از ستون های مستطیلی (کتابی) استفاده شود.



شکل ۳: محدودیت ابعاد ستون بتنی



در چه مواردی می توان از ستون مستطیلی (کتابی) استفاده نمود؟

۱. عواملی از قبیل ملاحظات معماری از جمله عدم تأمین پارکینگ، افزایش مساحت مفید ساختمان، مخفی کرده برخی ستون های بتنی در داخل دیوارها و ... ابعاد ستون بتنی را دستخوش تغییر قرار می دهد و مهندس طراح را به استفاده از ستون های مستطیلی سوق می دهد.
۲. در مواردی که سختی ستون بتنی در دو راستای اصلی بالانس (متعادل) نباشد. این مورد در حالتی که در یک جهت تعداد دهانه های قاب بیشتر از جهت دیگر باشد، رخ می دهد. در جهتی که تعداد دهانه ها کمتر باشد، به واسطه کمبود سختی (و معمولاً مشکل [کنترل دررفت](#)) معمولاً نیاز است از ممان اینرسی تیرها و ستون ها به بهترین شکل استفاده شود. در این موارد می توان بُعد بزرگتر ستون را در امتدادی که دهانه کمتری دارد قرار داد تا حرکت سازه در امتداد با سختی کمتر، خمش حول محور قوی ستون را ایجاد کند.



یک توصیه اجرایی

در صورتی که مهندس محاسب به هر دلیلی از ستون مستطیلی به جای ستون مربعی استفاده نماید، توصیه می شود که اختلاف ابعاد اضلاع ستون مشهود باشد (به عنوان مثال ابعادی مثل ۴۵x۵۰ یا ۴۰x۵۰ سانتی متر که با هم اختلاف جزئی دارند، حتی الامکان استفاده نشود). علت این موضوع آن است که تشخیص مستطیل بودن این قبیل ستون ها در نقشه های پلات شده (با توجه مقیاس کوچک آن ها) چندان آسان نیست. همین طور مشاهده شده است که به دلیل بی دقتی تیم اجرایی یا مهندس مجری، این ستون ها شبیه ستون های مربعی به نظر گرفته ممکن است هر دو ضلع مجاور آن به یک اندازه را اجرا شوند و یا گاهی در صورتی که تعداد این قبیل ستون ها در نقشه زیاد بوده است، راستای ضلع کوچک و بزرگ ستون یا آرماتورهای هر وجه جابه جا (معکوس) اجرا شده است. در صورتی که ناچار به استفاده از این قبیل ابعاد برای ستون های مستطیلی شدید، در تهیه نقشه های اجرایی این موارد را مدنظر قرار دهید تا اشتباهات اجرایی هزینه های اضافی را بر کارفرما یا پیمانکار تحمیل نکند.



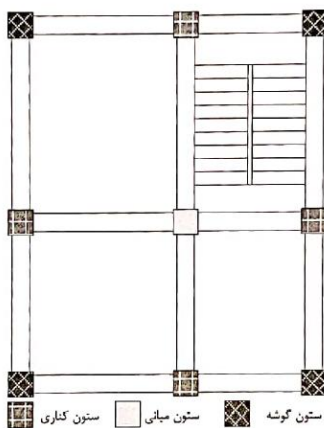
ب. این بند با اعمال محدودیتی سعی در جلوگیری از لاغری بیش از حد ستون بتنی دارد. بدین گونه که نسبت اندازه کوچک ترین وجه ستون به ارتفاع مؤثر آن، بایستی بیشتر از $1/25$ باشد. ضابطه این بند با توجه به بارگذاری های ثقلی و لرزه ای، معمولاً خود به خود تأمین می شود.

۲.۲ ابعاد ستون بتنی در یک ساختمان سه طبقه

مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش سال ۹۹) در پی نوشت ششم یک راهکار ساده برای تعیین حداقل ابعاد ستون بتنی و حداکثر ابعاد ستون بتنی یک ساختمان سه طبقه در نظر گرفته است. این پی نوشت در بند ۹-۶-۳-۲ ستون ها را از نظر طراحی به سه دسته "ستون داخلی"، "ستون میانی" و "ستون کناری" تقسیم بندی کرده است و ابعاد این ستون ها را در یک ساختمان ۳ طبقه مشخص بیان می کند. البته این پی نوشت در همان بخش های ابتدایی یعنی در بند ۹-۶-۳ ذکر می کند این ابعاد تنها یک راهنمای کلی می باشند و مهندس طراح می تواند از تمامی بندهای ذکر شده مرتبط دیگر در این آیین نامه در جهت طراحی ستون استفاده کند و همچنین بعد از استفاده از این ابعاد نیز باید نتیجه نهایی توسط مهندس طراح کنترل شود.

۹-۶-۳-۲- طراحی ستون

- ۱- مشخصات ستون بر اساس ابعاد ساختمان، طبقه و مکان آن در پلان با توجه به جدول ۹-۶-۱۸ تعیین میگردند.
- ۲- ستون ها در پلان به سه دسته "ستون داخلی"، "ستون میانی" و "ستون کناری" تقسیم بندی میگردند.



شکل ۹-۶-۳-۲ ستونهای "داخلی"، "میانی" و "کناری" در پلان



طبقه اول						
نوع ستون	۸	۷.۵	۷	۶.۵	۶	عرض (متر) طول (متر)
میانی	45-2	45-2	45-2	45-2	45-2	۸
کناری	45-2.5	45-2.5	45-2	45-2	45-2	
گوشه	45-2.5	45-2.5	45-2.5	45-2.5	45-2.5	
میانی	45-2	45-2	45-2	45-2	45-2	۸.۵
کناری	45-2.5	45-2.5	45-2	45-2	45-2	
گوشه	45-2.5	45-2.5	45-2.5	45-2.5	45-2.5	
میانی	45-2	45-2	45-2	45-2	45-2	۹
کناری	45-2.5	45-2.5	45-2.5	45-2	45-2	
گوشه	45-2.5	45-2.5	45-2.5	45-2.5	45-2.5	
میانی	45-2	45-2	45-2	45-2	45-2	۹.۵
کناری	45-2.5	45-2.5	45-2.5	45-2.5	45-2	
گوشه	45-2.5	45-2.5	45-2.5	45-2.5	45-2.5	
میانی	45-2	45-2	45-2	45-2	45-2	۱۰
کناری	45-2.5	45-2.5	45-2.5	45-2.5	45-2	
گوشه	45-2.5	45-2.5	45-2.5	45-2.5	45-2.5	

جدول شماره ۱ : ۹-۶-۱۸



طبقه دوم						
نوع ستون	۸	۷.۵	۷	۶.۵	۶	عرض (متر) طول (متر)
میانی	45-1	45-1	45-1	45-1	45-1	۸
کناری	45-2	45-2	45-2	45-2	45-2	
گوشه	45-1.5	45-1.5	45-1	45-1	45-1	
میانی	45-1	45-1	45-1	45-1	45-1	۸.۵
کناری	45-2	45-2	45-2	45-2	45-2	
گوشه	45-1.5	45-1.5	45-1	45-1	45-1	
میانی	45-1	45-1	45-1	45-1	45-1	۹
کناری	45-2	45-2	45-2	45-2	45-2	
گوشه	45-1.5	45-1.5	45-1	45-1	45-1	
میانی	45-1	45-1	45-1	45-1	45-1	۹.۵
کناری	45-2	45-2	45-2	45-2	45-2	
گوشه	45-2	45-1.5	45-1.5	45-1	45-1	
میانی	45-1	45-1	45-1	45-1	45-1	۱۰
کناری	45-2	45-2	45-2	45-2	45-2	
گوشه	45-2	45-2	45-1.5	45-1.5	45-1	

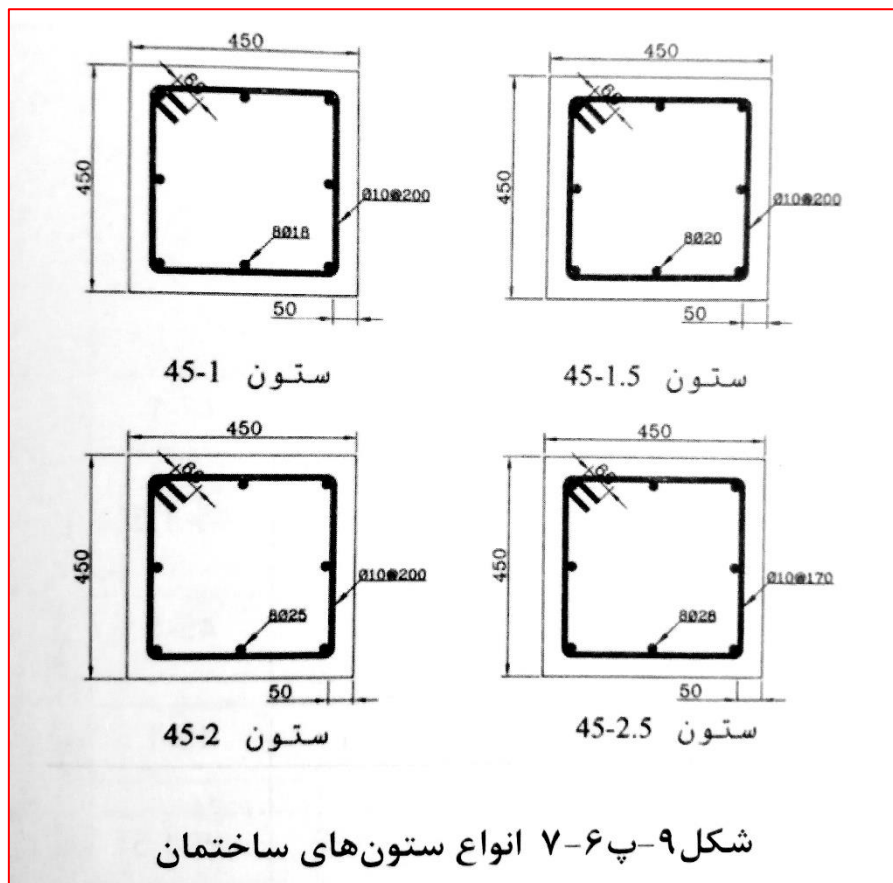
جدول شماره ۲: ۹-پ۶-۱۸



طبقه سوم						
نوع ستون	۸	۷.۵	۷	۶.۵	۶	عرض (متر) طول (متر)
میانی	45-1	45-1	45-1	45-1	45-1	۸
کناری	45-2	45-2	45-1.5	45-1.5	45-1.5	
گوشه	45-1	45-1	45-1	45-1	45-1	
میانی	45-1	45-1	45-1	45-1	45-1	۸.۵
کناری	45-2	45-2	45-1.5	45-1.5	45-1.5	
گوشه	45-1	45-1	45-1	45-1	45-1	
میانی	45-1	45-1	45-1	45-1	45-1	۹
کناری	45-2	45-2	45-1.5	45-1.5	45-1.5	
گوشه	45-1	45-1	45-1	45-1	45-1	
میانی	45-1	45-1	45-1	45-1	45-1	۹.۵
کناری	45-2	45-2	45-2	45-1.5	45-1.5	
گوشه	45-1	45-1	45-1	45-1	45-1	
میانی	45-1	45-1	45-1	45-1	45-1	۱۰
کناری	45-2	45-2	45-2	45-2	45-1.5	
گوشه	45-1	45-1	45-1	45-1	45-1	

جدول شماره ۳: ۹-۶-۱۸

همان طور که در سه جدول بالا مشاهده می کنید در این جداول در هر طبقه بر اساس اندازه عرض، طول و همچنین نوع ستون کدی ذکر شده است که این کد مربوط به شکل ۹-۶-۷ در این آیین نامه می باشد و در آنجا شما می توانید به صورت دقیق مشخصات هر کدام از ستون های مربوط به هر کد را مشاهده کنید.

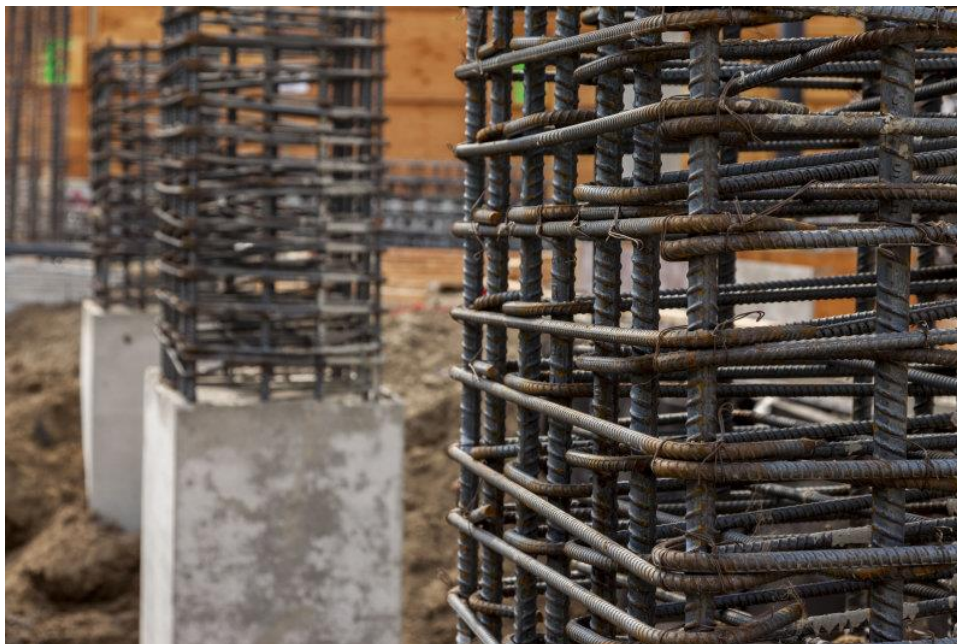


۳ میلگرد گذاری ستون بتنی

از درس بتن‌آرمه به‌خاطر داریم که آرماتورهای ستون بتنی به دو دسته‌ی زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

- میلگردهای طولی (اصلی)
- میلگردهای عرضی (خاموت)

ضوابط میلگرد گذاری طولی و عرضی ستون بتنی، به‌صورت نسبتاً پراکنده در بندهای مختلف مبحث نهم آمده است. در این مقاله برای انسجام بیشتر مطالب ارائه شده، ضوابط این دو نوع میلگرد مصرفی در ستون را جداگانه بررسی و تشریح خواهیم نمود.



شکل ۴: میلگرد گذاری ستون بتنی

۴ میلگرد گذاری طولی ستون بتنی

۱.۴ حداقل تعداد میلگرد طولی در ستون

مبحث نهم مقررات ملی ساختمان در برای ستون‌های مختلف با طراحی‌های متفاوت یک حداقل تعداد میلگرد در نظر گرفته است تا ستون‌ها دچار مشکلاتی مانند تغییر شکل‌های بیش از حد، از دادن مقاومت و شکل اولیه خود در مواجهه با کمترین نیروهای وارده شده، نشوند. مبحث نهم مقررات ملی ساختمان در بند ۹-۱۲-۶-۲ با توجه به شکل ساختاری ستون حداقل تعداد میلگردهای طولی آن‌ها را تعیین کرده است.

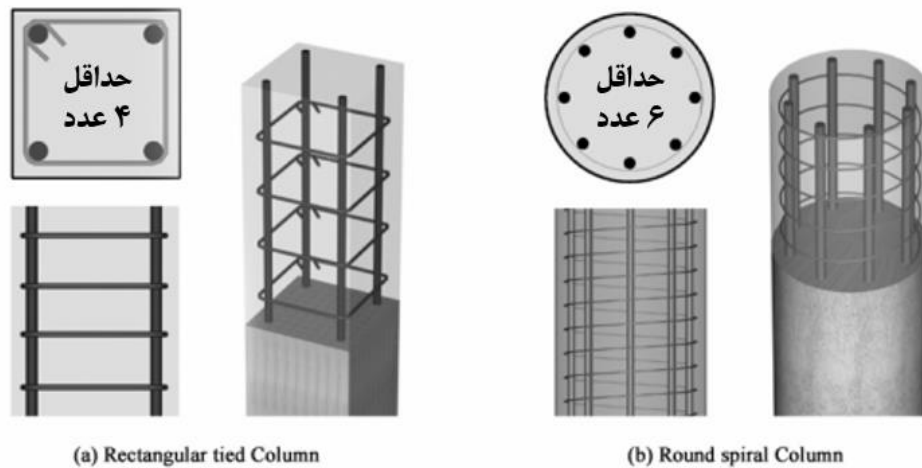
۹-۱۲-۶-۲ آرماتورهای طولی

۹-۱۲-۶-۱ حداقل تعداد میلگردهای طولی در ستون بر اساس موارد زیر تعیین می‌شود:

الف- میلگردهای داخل تنگ‌های مثلثی: ۳ عدد؛

ب- میلگردهای داخل تنگ‌های مستطیلی یا دایروی: ۴ عدد؛

پ- میلگردهای داخل دورپیچ و یا در ستون‌های قاب‌های خمشی ویژه محصور شده با دورگیرهای دایروی: ۶ عدد.



شکل ۶: حداقل تعداد میلگرد طولی در ستون بتنی

۲.۴ حداقل و حداکثر درصد تعداد میلگرد در ستون بتنی

برای اینکه بفهمیم حداقل و حداکثر درصد تعداد میلگرد طولی در یک ستون بتنی به چه مقدار می‌باشد باید به یکی از بندهای مهم و اساسی مبحث نهم که طی سال‌های اخیر و در ویرایش‌های مختلف دچار تغییرات شده است مراجعه کنیم. ضوابط این بند، یعنی بند ۹-۲۰-۵-۳ به شرح زیر می‌باشد.

۹-۲۰-۵-۳ آرماتورهای طولی

در ستون‌ها نسبت سطح مقطع میلگردهای طولی به کل سطح مقطع ستون نباید کمتر از یک درصد و بیش‌تر از هشت درصد در نظر گرفته شود. این محدودیت باید در محل وصله‌ها نیز رعایت شود.

۹-۲۰-۵-۳-۲ محل وصله‌ی آرماتورهای طولی ستون باید در خارج از ناحیه‌ی اتصال تیر به ستون باشد.

همان‌طور که می‌بیند آیین‌نامه تأکید دارد که نباید میلگردهای طولی کمتر از ۱ درصد و بیش‌تر از ۸ درصد نسبت به کل سطح مقطع ستون باشد همچنین در نظر داشته باشید که محدودیت حداکثر میلگرد طولی باید در محل وصله نیز باید رعایت شود.

از آنجایی که در نرم‌افزار Etabs از آیین‌نامه بتن آمریکا (ACI) استفاده می‌گردد، در صورتی که مقدار آرماتور طولی ستون از ۸٪ تجاوز نماید، ستون قرمز رنگ شده و پیغام (Over stress) O/S بر روی آن نمایش داده خواهد شد که به معنای عدم کفایت مقطع ستون بتنی برای تلاش‌های وارده است.

متن سنگین بود؟ نگران نباشید تمامی نکات میلگرد گذاری در ستون بتنی را می‌توانید در قالب ویدئویی که دانلود کرده‌اید



مشاهده کنید.



چرا آیین نامه برای ستون ها میلگرد حداقل تعیین کرده است؟

در جواب بایستی گفت که آیین نامه برای جلوگیری از ترد شکنی ستون، کاهش خزش و انقباض بتن و ... مقدار میلگرد حداقل در محل خارج از وصله و در محل وصله را برابر ۱٪ در نظر گرفته است. در حالتی که مقطع ستون بتنی در حالت Design طراحی شود، نرم افزار Etabs قادر به کنترل این ضابطه خواهد بود.



شکل ۷: وصله آرماتورهای ستون

۳.۴ حداقل فاصله بین میلگردهای طولی ستون بتنی

حداقل فاصله بین میلگردهای طولی ستون بتنی موضوعی است که به آن ابتدا در قسمت ۹-۱۲-۶ یعنی جزئیات آرماتورگذاری ستون بتنی اشاره شده است. ما در این قسمت و در بند ۹-۱۲-۶-۵ مشاهده می کنیم که تعیین حداقل فاصله آزاد آرماتورگذاری طولی موضوعی است که جزئیات دقیق آن در بند ۹-۲۱-۳-۱ بیان شده است. ضوابط این بند نیز به شرح ذیل می باشد.

۹-۲۱-۳-۱-۳ فاصله آزاد بین میلگردهای طولی در ستون ها، ستون پایه ها، بست ها و اجزای مرزی دیوارها نباید کمتر از هیچ یک از مقادیر زیر باشد.

الف- ۴۰ میلی متر؛

ب- برابر قطر بزرگترین میلگرد

پ- ۱۰۳۳ برابر قطر اسمی بزرگترین سنگ دانه



آیا در صورت نیاز می توان از آرماتورهای گروهی در ستون استفاده کرد؟



پاسخ کوتاه این سؤال بله است؛ اما برای پاسخ دقیق به این سؤال باید به بند ۹-۱۲-۶-۱-۴ مراجعه شود، این بند پاسخ کوتاه ما را تأیید کرده و بیان می‌کند برای مشاهده دقیق ضوابط این موضوع باید به بند ۹-۲۱-۵ مراجعه شود که ما در اینجا مهم‌ترین ضوابط این بند را برای شما قرار داده‌ایم.

۹-۲۱-۵ گروه میلگردها

۹-۲۱-۵-۱ تعداد میلگردها در هر گروه میلگرد که به صورت یک واحد کار می‌کنند به چهار محدود می‌شود.

۹-۲۱-۵-۲ گروه میلگرد باید تحت آرماتور عرضی محاط شود. آرماتورهای عرضی گروه میلگرد تحت فشار باید به قطر حداقل ۱۲ میلی متر باشد.

۹-۲۱-۵-۳ در تیرها استفاده از میلگردهایی با قطر بیش از ۳۴ میلی متر به صورت گروه میلگرد مجاز نیست.

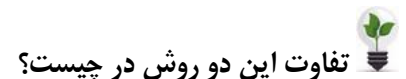
۹-۲۱-۵-۴ محل قطع هر میلگرد در گروه میلگرد، در طول دهانه اعضای خمشی، باید به فاصله حداقل ۴۰ برابر قطر میلگرد از محل قطع سایر میلگردهای گروه باشد.

۹-۲۱-۵-۵ در گروه میلگردها با بیش از دو میلگرد، نباید محورهای تمامی میلگردها در یک صفحه واقع شوند، همچنین تعداد میلگرد هایی که در یک صفحه قرار می‌گیرند، جز در محل وصله نباید بیش از دو باشد.

۴.۴ محاسبه تعداد میلگرد طولی ستون در ۳ گام

۴.۴.۱ گام اول: نحوه محاسبه آرماتور طولی ستون‌ها در ETABS

طراحی آرماتورهای طولی ستون را می‌توان به دو روش **to be Checked** (اصطلاحاً روش چک) و **to be Designed** (اصطلاحاً روش دیزاین) انجام داد.



تفاوت این دو روش در چیست؟

روش «Check» :

در این روش طراح مقاطع ستون مثل ابعاد، تعداد میلگرد ستون بتنی، رده و آرایش میلگرد و ... را به صورت دستی محاسبه و به نرم‌افزار معرفی کرده و به هر ستون مقطعی را اختصاص می‌دهد. نرم‌افزار برحسب تلاش‌های ایجاد در ستون‌ها، کفایت مقطع اختصاص داده شده را کنترل کرده و در صورت عدم کفایت مقطع، رنگ آن پس از طراحی قرمز خواهد شد. برای افزایش مقاومت ستون بایستی مقطع قوی‌تری (با ابعاد بزرگتر یا فولاد بیشتر) انتخاب شود. در گام بعد نکات اجرایی مربوط به آرماتورهای طولی ستون بیان خواهد شد که برای استفاده در این روش بسیار کاربردی است.

روش «Design» :

در این روش طراح فقط ابعاد مقطع ستون را مشخص می‌کند و نرم‌افزار برحسب تنش‌های وارده به ستون، مساحت میلگردهای طولی موردنیاز را محاسبه و گزارش خواهد نمود. سپس مهندس محاسب برحسب ضوابط آرماتورگذاری ستون، با استفاده از مقدار مساحت گزارش شده توسط نرم‌افزار سائز و تعداد میلگرد ستون را محاسبه می‌کند و به‌عنوان میلگردهای طولی ستون در نظر می‌گیرد. (مشابه روشی که برای محاسبه تعداد و سائز آرماتورهای طولی تیرها استفاده شد)



این دو روش طراحی چه تفاوت‌هایی نسبت به یکدیگر دارند؟

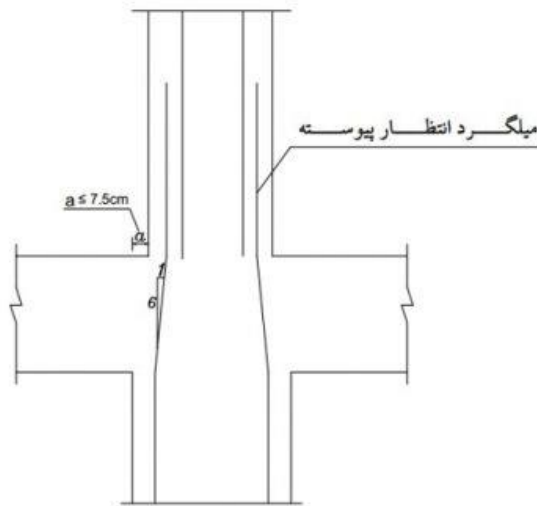
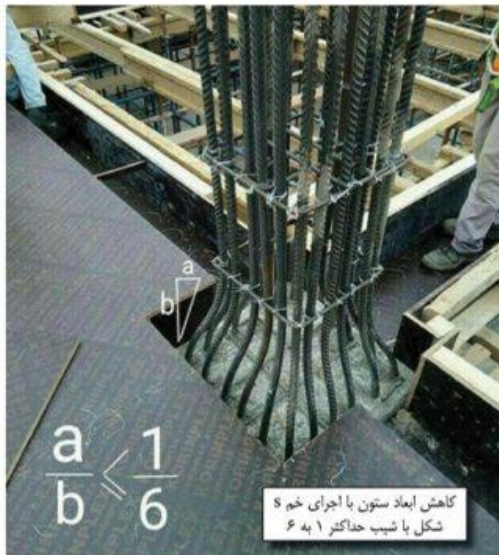
- از آنجایی که در روش چک، کلیه مشخصات مقطع (ابعاد، سازه و تعداد میلگرد و آرایش آرماتور و ...) توسط طراح به نرم‌افزار معرفی می‌شود، عمده روند تیپ بندی ستون‌ها در این مرحله طی شده و نهایی کردن مقاطع پس از طراحی سازه بسیار ساده‌تر خواهد شد.
- در استفاده از روش چک، طراح بایستی با در نظر گرفتن ضوابط میلگرد گذاری ستون‌ها، مشخصات مقطع را به نرم‌افزار معرفی نماید و درصد مجاز آرماتور را به صورت دستی محاسبه نماید. ولی در روش دیزاین، کلیه این ضوابط برحسب آیین نامه ACI (که مطابقت قابل قبولی با مبحث نهم دارد) و توسط خود نرم‌افزار اعمال شده که در خروجی‌ها گزارش می‌شود.
- کنترل ضوابطی همچون درصد آرماتور حداقل و حداکثر صرفاً در روش دیزاین ممکن بوده و در روش چک بایستی به صورت دستی توسط طراح کنترل گردد.
- از آنجایی که تعیین مشخصات اولیه ستون‌ها برای مهندسين و طراحان تازه کار کمی دشوار است، توصیه می‌شود در وهله اول از روش دیزاین برای محاسبه مساحت آرماتورهای طولی مورد نیاز ستون توسط نرم‌افزار استفاده کرده و سپس برای تبدیل مساحت آرماتور به تعداد و سازه میلگرد و انجام تیپ بندی مقاطع از روش چک اقدام کنند.
- در روش Design نرم افزار سطح اندرکنش را برای درصدهای مختلفی حساب می‌کند و بر اساس آن بحرانی ترین حالت را بر اساس سطح اندرکنش برای درصدهای مختلف آرماتور در نظر می‌گیرد. اما روش Check، روش کنترلی می‌باشد؛ یعنی منحنی اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی در آن ثابت است. در واقع یک منحنی یونیک دارد و نیازی نیست بخواهد اندرکنش برای حالت‌های مختلف را حساب کند و بعد درون یابی کند.
- در بعضی مواقع ممکن است، نتایج تحلیل و طراحی برای یک ستون با روش Check و روش Design، کاملاً یکسان نباشد و این برمی‌گردد به سطوح اندرکنش که رابطه خطی با هم ندارند. در واقع نسبت M/P یک رابطه کاملاً نامشخص و غیرقابل پیش‌بینی بوده و نمی‌شود اینطور گفت که چون ما از روش Design و یا Check استفاده می‌کنیم، باید نتایج تحلیل و طراحی هر دو کاملاً یکسان باشد!

۴.۴.۲ گام دوم: نکات اجرایی میلگرد گذاری ستون بتنی

قبل از شروع این گام، توصیه می‌کنیم ضوابط بند ۹-۲۰-۳-۲ و ۹-۲۱-۲-۱-۳ که محدودیت‌های هندسی و ضوابط آرماتورهای طولی ستون را بیان کرده است، مطالعه کنید. نکاتی که برای طراحی و تیپ بندی آرماتور طول ستون مورد نیاز است، عمدتاً در قالب توصیه اجرایی هستند.

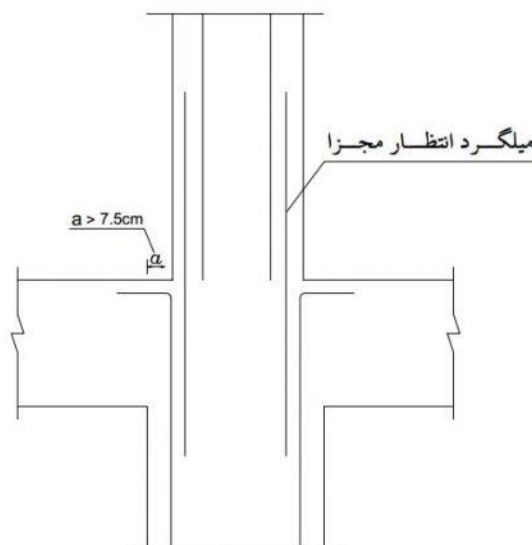
نکاتی در مورد ابعاد ستون بتنی:

۱. با توجه به رفتار قاب خمشی ممکن است تلاش‌های ایجاد شده در ستون‌های زیرین کمتر از ستون‌های بالایی آن‌ها باشد. هرچند در این موارد از لحاظ تئوریک و آیین‌نامه‌ای، می‌توان برای ستون زیرین مقطع کوچکتری انتخاب نمود ولی این کار از نظر اجرایی مناسب نبوده و قالب‌بندی ستون بالایی را دشوار خواهد کرد.
 ۲. در مواردی نظیر نکته ۱، بهتر است ابعاد ستون بتنی زیرین و بالایی را یکسان در نظر گرفت ولی برای ستون زیرین از آرماتور کمتری نسبت به ستون بالایی استفاده نمود.
 ۳. در صورت بروز حالتی مانند نکته ۱، علاوه بر صعوبت قالب‌بندی ستون؛ برای ادامه آرماتور از ستون پایین به بالا بایستی از دیتیل‌های خاصی استفاده نمود. براین اساس آیین‌نامه دو راهکار زیر را پیشنهاد داده است:
- راهکار اول: بر اساس بند ۹-۱۲-۶-۳-۱ از مبحث نهم، در صورتی که مقدار کاهش ابعاد مقطع ستون بتنی بالایی نسبت به ابعاد مقطع ستون بتنی پایین کمتر یا مساوی ۷۵ میلی‌متر باشد ($a \leq 75 \text{ mm}$) می‌توان میلگرد طولی را خم S شکل زد.



شکل ۸: میلگرد انتظار پیوسته

راهکار دوم: بر اساس بند ۹-۱۲-۶-۳-۲ از میحث نهم، در صورتی که مقدار کاهش ابعاد مقطع ستون بالایی نسبت به ابعاد مقطع ستون پایین بیشتر از ۷۵ میلی‌متر باشد ($a > 75 \text{ mm}$) بایستی به جای استفاده از خم S شکل، میلگردهای طولی ستون پایین را در زیر ستون بتنی بالایی قلاب کرده و برای وصله از میلگردهای مجزا تعبیه نماییم. طول این میلگردهای مجزا بایستی از هر طرف به اندازه‌ی طول مهار کششی و فشاری (هر کدام بیشتر است) را تأمین نماید.



شکل ۹: میلگرد انتظار مجزا

۴. بر اساس عرف اجرایی، مهندسین برای کاهش ابعاد مقطع ستون از خم یک به شش استفاده می‌کنند. بر این اساس می‌توان برای ستون‌های کناری تا ۵ cm و برای ستون‌های میانی ۱۰ cm کاهش ابعاد مقطع در نظر گرفت.
۵. با توجه اختلاف قیمت زیاد بتن و فولاد، مهندسین باتجربه با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی، استفاده از ستون بتنی با مقطع بزرگ و فولاد کم را به ستون بتنی با مقطع کوچک و فولاد زیاد ترجیح می‌دهند. رعایت این موضوع در پروژه‌های بزرگ بسیار صرفه اقتصادی بسیاری دارد.

نکات مهم وصله آرماتورهای طولی ستون:



در قسمت ۹-۱۲-۶ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان که مربوط به ستون‌های بتنی و جزئیات آرماتورگذاری آن‌ها می‌باشد و در بخش چهارم این قسمت نکاتی برای استفاده از وصله‌ها در میلگردهای طولی ستون‌های بتنی آورده شده است. این آیین‌نامه استفاده از هر ۴ مدل وصله پوششی، مکانیکی، جوشی سر به سر و اتکایی را در ستون‌ها مجاز اعلام می‌کند.

۹-۱۲-۶-۴ وصله‌ی آرماتور طولی ستون

۹-۱۲-۶-۴-۱ استفاده از وصله‌های پوششی، مکانیکی، جوشی سر به سر و اتکایی در ستون‌ها مجاز است. وصله‌ی آرماتورها باید الزامات تمام ترکیب‌های بارگذاری را تأمین نموده و منطبق با ضوابط بخش ۹-۲۱-۴ باشد. در صورت لزوم، ضوابط وصله بر اساس الزامات فصل ۹-۲۰ نیز باید رعایت گردند.

۹-۱۲-۶-۴-۲ اگر نیروی میلگردها در اثر بارهای ضریب‌دار اعمالی فشاری باشد، استفاده از وصله‌های پوششی فشاری مجاز است. طول وصله‌ی پوششی فشاری را می‌توان بر اساس موارد (الف) یا (ب) کاهش داد؛ اما این طول در هر حال نباید کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر باشد:

الف- برای ستون‌های با تنگ که در ناحیه‌ی وصله‌ی پوششی، سطح مقطع مؤثر آرماتورهای عرضی در هر دو جهت حداقل برابر با $0.0015 h_s$ باشد، طول وصله‌ی پوششی را می‌توان در ضریب 0.83 ضرب نمود. در محاسبه‌ی سطح مؤثر تنگ‌ها، تنها سطح مقطع شاخه‌های عمود بر امتداد h منظور می‌شود.

ب- برای ستون‌های با دورپیچ، طول وصله‌ی پوششی را می‌توان در ضریب 0.75 ضرب نمود.

۹-۱۲-۶-۴-۳ اگر نیروی ایجاد شده در میلگرد طولی ستون در اثر بارهای با ضریب کششی باشد، طول وصله‌ی پوششی باید در کشش تعیین شود. در این حالت اگر تنش کششی آرماتور حداکثر $0.5f_y$ بوده و تعداد میلگردهایی که در یک مقطع وصله می‌شوند، حداکثر نصف میلگردهای کششی باشند، و در ضمن وصله‌های پوششی میلگردهای مجاور حداقل معادل l_d در طول ستون فاصله داشته باشند، وصله از نوع A محسوب شده و طول پوشش باید حداقل برابر با l_d اختیار شود. در غیر این صورت، وصله از نوع B محسوب شده و طول پوشش باید حداقل برابر با $1.3l_d$ در نظر گرفته شود. در هر حال طول وصله نباید کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود.

۹-۱۲-۶-۴-۴ اگر نیروی میلگرد طولی ستون در همه‌ی ترکیبات بار فشاری باشد، استفاده از وصله‌های اتکایی مجاز خواهد بود؛ به شرط آن که وصله‌ی آرماتورهای طولی ستون در مقاطع مختلف انجام شود؛ و یا در محل وصله، از میلگردهای اضافی استفاده شود؛ به طوری که حداقل مقاومت کششی میلگردهایی که در هر وجه ستون در محل وصله امتداد می‌یابند، معادل حاصل ضرب $0.25f_y$ در سطح مقطع تمامی میلگردهای موجود در آن وجه ستون باشد.

نکات مهم میلگرد ریشه ستون بتنی:

نکات و توضیحات جامعی در مورد آرماتورهای انتظار ستون‌ها، در مقاله‌ی "[میلگرد گذاری فونداسیون](#)" ارائه شده است که توصیه‌ی می‌شود حتماً ببینید. اما در اینجا نیز چند نکته که در باب تیپ بندی که حائز اهمیت هستند، بیان می‌شود:

- بهتر است سازه و تعداد میلگردهای ریشه مشابه سازه و تعداد میلگردهای طولی ستون در طبقه اول باشد اشتباهات اجرایی به حداقل برسد.
- در مواردی که ابعاد ستون بتنی در طبقه اول کوچک انتخاب شده است، می‌توان برای جلوگیری از تجاوز درصد آرماتور از حد مجاز آن، میلگرد ریشه ستون بتنی و طبقه اول را به صورت یکپارچه (بدون قطع) اجرا نمود تا وصله‌ها سبب تراکم غیرمجاز میلگردها نگردد.
- از موارد مهمی که مهندس ناظر بایستی به آن توجه داشته باشد آن است که انتهای میلگردهای ریشه حتماً دارای قلاب و خم باشند



۳.۴.۴ گام سوم: محاسبه تعداد و سائز آرماتورهای طولی ستون بتنی

همان طور که اشاره شد، محاسبه تعداد میلگرد طولی ستون بتنی در روش دیزاین، دقیقاً مشابه محاسبه تعداد و سائز آرماتورهای طولی تیرهاست که نحوه محاسبه کامل توضیح داده شده است پس لزومی به تکرار مجدد آن ها در این قسمت نیست.

اما، در ادامه تعدادی از نکات مهم و کاربردی را برای محاسبه دقیق تعداد و سائز آرماتورهای طولی ستون بتنی نام می بریم:

۱. همان طور که پیش تر گفته شد بر اساس بند ۹-۲۱-۲-۱-۳ فاصله آزاد (بر تا بر) میلگردهای طولی ستون باید بزرگتر از ۱,۵ برابر قطر بزرگترین آرماتور و ۴ سانتی متر و همچنین ۱,۳۳ برابر قطر اسمی بزرگترین سنگدانه باشد.
۲. حتی الامکان سعی شود ابعاد ستون ها در طبقات و پلان، دارای تنوع زیادی نباشد.
۳. توصیه می شود ابعاد ستون در هر دو یا سه طبقه تغییر کند تا سرعت اجرا و هزینه های قالب بندی به حداقل برسند.
۴. با پیشروی در ارتفاع سازه، هرچند کاهش تعداد آرماتور به کاهش سائز آرماتورها اولویت دارد؛ ولی بایستی تعداد میلگردهای طبقه پایین بیشتر یا مساوی تعداد میلگردهای طبقه بالاتر باشد.
۵. سائز میلگردهای طولی ستون بتنی به نحوی انتخاب شود که چند سائز آن با سائز میلگردهای طولی تیرها مشترک باشد تا هزینه های خرید و حمل به کارگاه تعدیل شود.
۶. با توجه به ضوابط خاموت گذاری و شرایط اجرایی بهتر است به جای استفاده از آرماتور زیاد با قطر کم، از آرماتور کم با قطر زیاد استفاده شود (تا تعداد سنجاقک در ستون یا خاموت های لوزی مقطع کاهش یابد).
۷. چینش آرماتورهای ستون بتنی در مقاطع مربعی معمولاً به صورت متقارن می باشد. در این حالت تعداد کل آرماتورهای مقطع همواره مضربی از ۴ می باشد.
۸. معمولاً با پیشروی در ارتفاع سازه، ابعاد ستون ها کاهش می یابد. این کاهش ابعاد ستون بایستی به گونه ای باشد که طول مهار آرماتورهای طولی تیر در داخل ستون تأمین گردد.
۹. به دلیل رفتار قاب خمشی در برابر نیروهای جانبی، ممکن است برخی از ستون ها در طبقات میانی سازه با مقطع بسیار ضعیف نیز جوابگو باشد (سبز یا زرد رنگ شود) ولی به دلیل مسائل اجرایی و تیپ بندی بایستی از مقاطع قوی تر (که ممکن است آبی یا سفید رنگ شوند) استفاده شود.

۵ آرماتور گذاری عرضی ستون بتنی

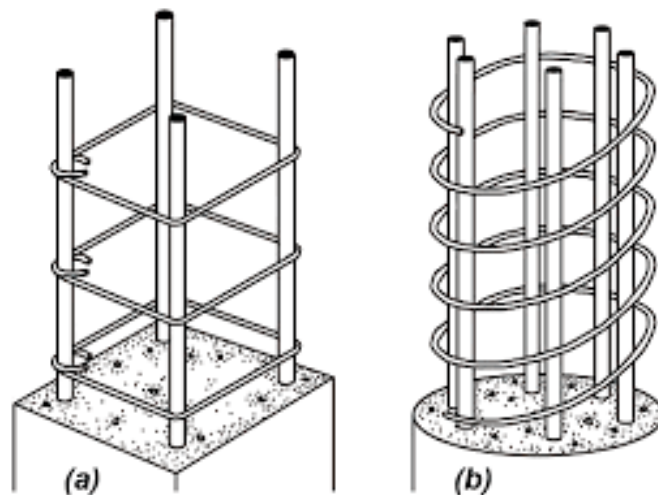
۱.۵ ضوابط و نحوه خاموت گذاری در ستون

خاموت گذاری در ستون های بتنی طبق ضوابط بندهای بسیاری در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان شرح داده شده است که در ادامه به صورت کامل تمامی آن ها را به ترتیب برای شما شرح می دهیم. در همین ابتدا ما به قسمت ۹-۱۲-۶ و به قسمت جزئیات آرماتور گذاری آرماتورهای عرضی مراجعه می کنیم. در این قسمت می توان بندهای مهمی را در خصوص نحوه خاموت گذاری در ستون های بتنی مشاهده کرد:

- بند ۹-۱۲-۶-۵: آرماتورهای عرضی باید محدودکننده ترین الزامات فاصله آرماتورها را برآورده سازند. جزئیات میلگردهای عرضی باید مطابق ضوابط بندهای ۹-۲۱-۶ تا ۹-۲۱-۳ باشد. (بندهای ذکر شده در این قسمت مربوط به ضوابط آرماتور گذاری خاموت ها، تنگ ها و دورپیچ ها می باشند.)



- بند ۹-۱۲-۶-۵-۲: لازم است آرماتورهای طولی، با استفاده از تنگ‌ها، دورگیرها و یا دورپیچ‌ها مطابق بند ۹-۱۲-۶-۶ به صورت جانبی مهار شوند مگر آنکه آزمایش‌ها و تحلیل‌های سازه‌ای نشان دهد که، مقاومت کافی و امکان اجرا وجود دارد.
- بند ۹-۱۲-۶-۵-۳: اگر پیچ‌های مهاری در قسمت بالای ستون یا ستون پایه (پدستال) تعبیه شوند، باید توسط آرماتورهای عرضی که حداقل ۴ آرماتور طولی ستون یا ستون پایه را در برگرفته‌اند، محصور شوند. آرماتورهای عرضی به صورت تنگ یا دورگیر باید در طول ۱۲۵ میلی‌متری قسمت بالای ستون یا ستون پایه توزیع شوند و حداقل شامل ۲ آرماتور به قطر ۱۲ میلی‌متر و یا ۳ آرماتور به قطر ۱۰ میلی‌متر باشند.
- بند ۹-۱۲-۶-۵-۴: اگر جهت اتصال ستون یا ستون پایه به یک جزء پیش‌ساخته در انتها از کوپلر مکانیکی و یا میلگردهای ادامه یافته استفاده می‌شود، آنها باید توسط میلگردهای عرضی احاطه شوند. میلگردهای عرضی باید حداقل در طول ۱۲۵ میلی‌متر از انتهای ستون یا ستون پایه توزیع شده و شامل حداقل ۲ آرماتور به قطر ۱۲ میلی‌متر و یا ۳ آرماتور به قطر ۱۰ میلی‌متر به صورت تنگ و یا دورگیر باشند.
- بند ۹-۱۲-۶-۱: در هر طبقه، فاصله اولین تنگ یا دورگیر ستون از سطح بالای شالوده یا دال، نباید بیشتر از نصف فواصل تعیین شده برای تنگ‌ها یا دورگیرها باشد.
- بند ۹-۱۲-۶-۲: در هر طبقه، فاصله آخرین تنگ یا دورگیر ستون از زیر پایین‌ترین میلگردهای افقی دال، پهنه (کتیبه)، و یا کلاهی برشی، نباید بیشتر از نصف فواصل تعیین شده برای تنگ‌ها یا دورگیرها باشد. در صورت اتصال تیر با نشیمن (دستک) به کلیه وجوه ستون، می‌توان بالاترین تنگ یا دورگیر را در مقطعی به فاصله حداکثر ۷۵ میلی‌متر از زیر پایین‌ترین میلگرد افقی در کم‌ارتفاع‌ترین تیر یا دستک متوقف نمود.
- بند ۹-۱۲-۶-۵: هر جا آرماتورهای طولی انحراف داشته باشند، لازم است برای آنها در محل خم با به کارگیری تنگ، دورگیر، دور پیچ و یا قسمتهایی از سیستم سازه‌ای کف، تکیه گاه افقی فراهم شود؛ این تکیه گاه باید برای نیرویی معادل ۱/۵ برابر مؤلفه افقی نیروی محاسباتی قسمت مایل میلگردهای با انحراف، طراحی شود. فاصله ی چندین میلگردهای عرضی به صورت تنگ بسته، دورگیر و دورپیچ، نباید از نقاط خم شده ی میلگرد با انحراف، بیشتر از ۱۵۰ میلی‌متر باشد.
- بند ۹-۱۲-۶-۷-۱: در صورت لزوم می‌توان در ستون از فولاد برشی به صورت تنگ، دورگیر و یا دورپیچ استفاده نمود.



شکل ۱۰: تفاوت ظاهری تنگ با دورپیچ

در ادامه به یکی از نکات مهم خاموت گذاری ریشه ستون‌ها در داخل فونداسیون اشاره می‌کنیم که این نکته در بند ۹-۲۰-۵-۳-۶ بیان شده است. البته همان‌طور که پیش‌تر گفته شد بهتر است حتما در این مورد با [میلگرد گذاری فونداسیون](#) آشنایی داشته باشید. این بند بیان می‌کند که در اتصال ستون به شالوده، آرماتور طولی ستون که به داخل شالوده ادامه داده شده است باید در طول حداقل برابر با ۳۰۰ میلی‌متر با استفاده از آرماتور عرضی مطابق ضوابط بندهای ۹-۲۰-۵-۳-۲ و ۹-۲۰-۵-۳-۳ محصور گردد. از جمله موارد مهمی که مهندس ناظر بایستی از اجرای آن اطمینان حاصل نماید، همین بند از آیین‌نامه می‌باشد. به عنوان یک توصیه‌ی اجرایی بهتر است خاموت گذاری ریشه ستون در کل ارتفاع فونداسیون ادامه پیدا کند. البته در این زمینه برای توضیح بیشتر می‌توانیم به یک بند دیگر که مربوط به **ضوابط ویژه برای طراحی در برابر زلزله** می‌باشد اشاره کنیم. بند ۹-۲۰-۲-۴ از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ذکر می‌کند که: ((در ستون‌ها و یا اجزای لبه‌ی دیوارهای سازه‌ای ویژه که فاصله لبه‌ی آنها از لبه‌ی شالوده از نصف ضخامت شالوده کمتر است، باید از آرماتورهای عرضی مطابق ضوابط بندهای ۹-۲۰-۳-۶ تا ۹-۲۰-۳-۴ در قسمت فوقانی شالوده استفاده شود. این آرماتورها باید از روی شالوده به اندازه‌ی طول مهاری آرماتورهای طولی ستون و یا جزء لبه‌ی دیوار برشی ویژه، که برای تنش f_y محاسبه شده است، در درون شالوده ادامه یابند.))

با این بند آیین نامه جدید برای ستون های کناری و گوشه ضوابط سخت گیرانه تری نسبت به مبحث نهم ۹۲ ارائه کرده است.



شکل ۱۱: خاموت گذاری ریشه ستون

۲.۵ ضوابط آیین نامه ای محاسبه آرماتور عرضی در ستون بتنی

در همین ابتدا و بدون مقدمه باید بگوییم که محاسبه تعداد آرماتورهای عرضی در یک ستون بتنی طبق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۹۹) و البته چه برای ستون هایی با شکل پذیری متوسط و چه برای ستون هایی با شکل پذیری ویژه طی روابط خاصی صورت می پذیرد و باید ما تمامی این روابط را در روند محاسبه تعداد آرماتورهای عرضی در نظر بگیریم. در ادامه ما سعی کردیم با استفاده از یک ویدئو بسیار کاربردی و تصاویر مربوطه این موضوع را به ساده ترین شکل ممکن برای شما توضیح دهیم.

همان طور که پیش تر در ابتدای این مقاله گفته شد، مطالب بیان شده در این مقاله بیشتر مربوط به سازه هایی با شکل پذیری متوسط هستند از این رو ما به بخش ۹-۲۰-۵-۳ از مبحث نهم آیین نامه مقررات ملی ساختمان مراجعه می کنیم که در این بند می توان برخی توضیحات مربوط به محاسبه تعداد آرماتورهای عرضی ستون هایی با شکل پذیری متوسط را مشاهده کرد.



۹-۲۰-۳-۵-۲ در دو انتهای ستون ها در طول l_0 باید دورگیر مطابق بند ۹-۲۰-۳-۳-۳ به کار برده شود. طول l_0 ناحیه‌ی بحرانی، که از بر اتصال به اعضای جانبی اندازه گیری می شود، نباید کمتر از مقادیر (الف) تا (پ) زیر در نظر گرفته شود:

الف - یک ششم ارتفاع آزاد ستون
ب- بزرگترین بعد مقطع ستون یا قطر مقطع دایره ای شکل آن؛
پ- ۴۵۰ میلی متر

۹-۲۰-۳-۵-۳ آرماتورهای عرضی مورد نیاز در طول l_0 باید دارای قطر حداقل ۱۰ میلی متر بوده، و فواصل آنها از یک دیگر در مواردی که به صورت دورپیچ به کار گرفته می شوند مطابق ضوابط فصل ۹-۱۲، و در مواردی که به صورت دور گیر به کار برده می شوند فاصله ی آنها، S_0 ، باید برابر کم ترین از مقادیر (الف) تا (پ) در نظر گرفته شوند:

الف - برای فولادهای با مقاومت تسلیم ۴۲۰ مگاپاسکال و کم تر، ۸ برابر قطر کوچک ترین میلگرد طولی ستون، ولی نه بیشتر از ۲۰۰ میلی متر؛
ب- برای فولادهای با مقاومت تسلیم ۵۲۰ مگاپاسکال و بیشتر، ۶ برابر قطر کوچکترین میلگرد طولی، ولی نه بیشتر از ۱۵۰ میلی متر؛
پ- نصف کوچک ترین بعد مقطع ستون

هم چنین فاصله ی اولین دورگیر از بر اتصال، نباید بیشتر از نصف مقادیر فوق، $S_0/2$ ، در نظر گرفته شود.

۹-۲۰-۳-۵-۴ در قسمتهایی از طول ستون که شامل طول l_0 نمی شود، ضوابط آرماتور عرضی مشابه ضوابط بند ۹-۱۲-۶-۷-۲ می باشند.

برای کامل تر شدن بررسی محاسبه تعداد میلگرد عرضی در هر ستون باید به سرفصل جزئیات آرماتورگذاری و در آنجا به توضیحات قسمت آرماتورهای عرضی (بند ۹-۲۱-۶) مراجعه کنیم. که در ویدئو زیر برخی از بندهای مهم این قسمت به خوبی شرح داده شده اند.

دانلود ویدئوی اول طراحی ستون بتنی

در ادامه نیز می توان برخی از بندهای مهم آیین نامه ای را که برای محاسبه تعداد آرماتور عرضی در ستون های بتنی مناسب هستند را مشاهده نمود.



۹-۲۱-۶-۲ تنگ‌ها

۹-۲۱-۶-۱ تنگ‌ها باید از حلقه‌های بسته‌ی میلگردهای آجدار تشکیل شده، و فواصل آن‌ها از یک دیگر شرایط زیر را تامین کنند.

الف- فاصله‌ی آزاد حداقل $1/33$ برابر حداکثر قطر اسمی سنگ دانه.

ب- فاصله‌ی مرکز به مرکز تنگ‌ها نباید از هیچ یک از مقادیر زیر بیش‌تر باشد:

- ۱۶ برابر قطر میلگرد طولی؛

- ۴۸ برابر قطر میلگرد عرضی؛

- کوچک‌ترین بعد عضو.

۹-۲۱-۶-۲ قطر تنگ‌ها باید حداقل برابر مقادیر زیر باشد:

الف- قطر ۱۰ میلی متر برای میلگرد طولی تا قطر ۳۲ میلی متر.

ب- قطر ۱۲ میلی متر برای میلگرد طولی به قطر ۳۴ میلی متر و بزرگ‌تر و یا گروه میلگردهای طولی.

۹-۲۱-۶-۳ دورپیچ‌ها

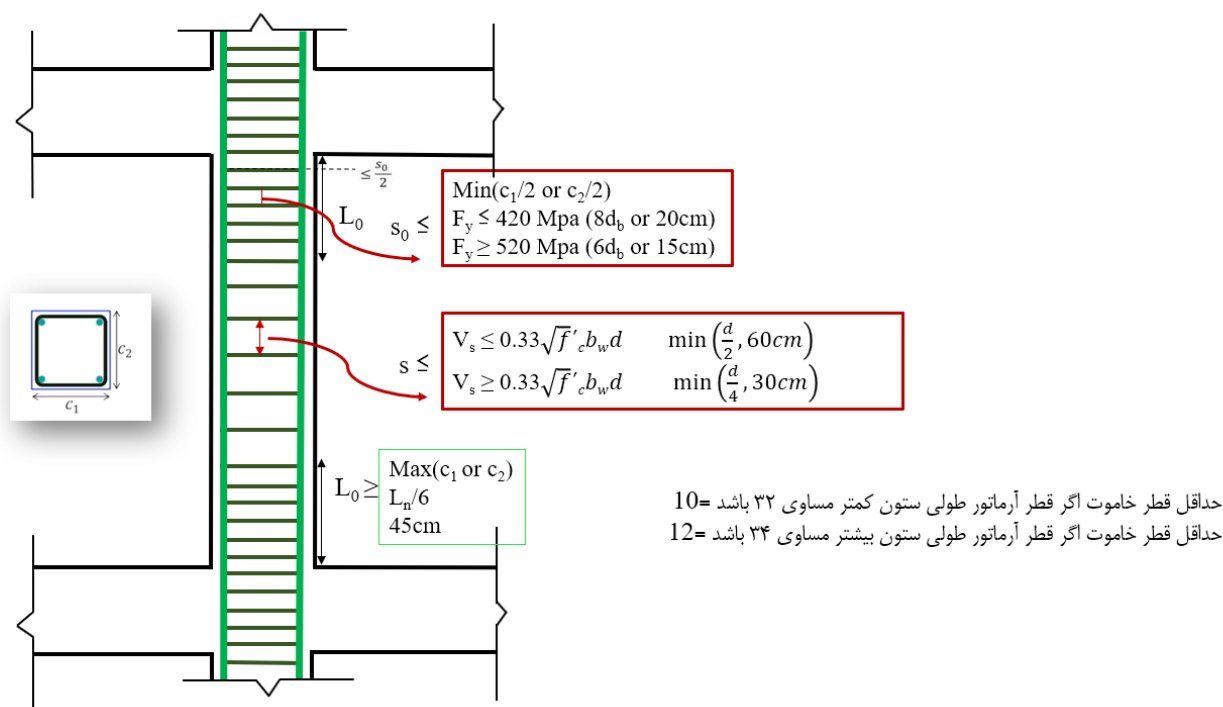
۹-۲۱-۶-۱ دورپیچ‌ها باید متشکل از میلگرد یا سیم پیوسته با فاصله‌های مساوی بوده، و فاصله‌ی آزاد آن‌ها از یک دیگر شرایط زیر را تامین نماید.

الف- حداقل $1/33$ برابر اندازه‌ی بزرگ‌ترین سنگ دانه و ۲۵ میلی متر، هر کدام بزرگ‌تر است.

ب- حداکثر ۷۵ میلی متر.

۹-۲۱-۶-۲ قطر سیم یا میلگرد دورپیچ برای اجرا به صورت بتن درجا باید حداقل ۱۰ میلی متر باشد.

حال برای اینکه بهتر متوجه مفهوم بندهای ذکر شده در قسمت‌های بالاتر شوید شرایط ذکر شده را که به صورت کامل در تصویر زیر نشان داده شده است؛ مشاهده کنید:



شکل ۱۲: محاسبه تعداد میلگرد عرضی در ستون بتنی

۳.۵ طول ناحیه بحرانی در ستون

بند ۹-۲۰-۵-۳-۲ ضوابط مربوط به تعیین طول ناحیه بحرانی (ویژه) ستون را بیان کرده است. اگر دیاگرام برش ستون‌ها تحت نیروی جانبی (مانند زلزله) را برر سی کنیم، خواهیم دید که در نواحی ابتدایی و انتهایی ارتفاع آزاد ستون، مقدار برش به بحرانی‌ترین مقدار می‌رسد؛ لذا آیین‌نامه برای **خاموت گذاری ستون بتنی** در این نواحی ضوابط سخت‌گیرانه‌تری را اعمال می‌کند.

$$L_0 \geq \max \{Lu/6, \text{بزرگترین ضلع مقطع ستون}, 450\text{mm}\}$$

یک نکته ساده: با استناد به تصویر فوق می‌توان دریافت که اگر از کل ارتفاع آزاد ستون، مجموع طول نواحی بحرانی ابتدایی و انتهایی را کم کنیم؛ طول ناحیه غیر بحرانی ستون به دست خواهد آمد.

۴.۵ فاصله میلگردهای عرضی در ستون

در بندهای ۹-۲۰-۵-۳-۳ و ۹-۲۱-۶ ضوابط مربوط به حداقل قطر خاموت و حداقل فاصله خاموت‌های ستون بیان گردیده است. مطابق این بندها می‌توان گفت:

- قطر خاموت‌ها در ستون‌های قا



ب خمشی بتنی با شکل پذیری متوسط، بایستی حداقل ۱۰ میلی متر ($\Phi 10$) انتخاب شود. لازم به ذکر است که رده میلگردهای عرضی (خاموت) معمولاً AII انتخاب می شود.

الف تا پ بند ۹-۲۰-۵-۳-۳: همان طور که مشاهده می شود ضوابط مربوط به فاصله خاموت ها در ناحیه بحرانی ستون در موارد الف تا پ همین بند بیان شده است که می توان آن را به صورت زیر جمع بندی نمود:

$$S_0 \leq \min \begin{cases} \frac{1}{2} \text{Min}(h_1, h_2) \\ F_y \leq 420 \text{MPa} \begin{cases} \text{قطر کوچک ترین میلگرد طولی} \times 8 \\ 200 \text{mm} \end{cases} \\ F_y \geq 520 \text{MPa} \begin{cases} \text{قطر کوچک ترین میلگرد طولی} \times 6 \\ 150 \text{mm} \end{cases} \end{cases}$$

در آخرین جمله این بند هم ذکر شده فاصله اولین خاموت از بر اتصال ستون به تیر بایستی کمتر یا مساوی نصف فاصله خاموت ها در ناحیه بحرانی ستون باشد یعنی $S_0/2$ باشد که به خوبی در تصویر مشخص شده است.

در ادامه طبق بند ۹-۲۰-۵-۳-۳ برای آرماتورگذاری عرضی نواحی غیر بحرانی ستون بتنی، می توان از ضوابط کلی خاموت گذاری بیان شده در بند ۹-۱۲-۶-۲ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان استفاده نمود. حال اگر حس می کنید که بازهم با توضیحات داده شده به طور کامل مطالب و بندهای ذکر شده را درک نکرده اید توجه شما را به ویدئو زیر جلب می کنم در این ویدئو علاوه بر تمامی نکات، نکات بیشتری برای درک کامل مباحث این قسمت توسط مهندس سرکار خانم محمدی برای شما بیان شده است.

دانلود ویدئوی دوم طراحی ستون بتنی

قطعاً این ویدئو فوق العاده تنها قسمت کوتاهی از ویدئو طراحی ستون بتنی است که می توانید در انتهای همین صفحه آن را به همراه PDF مقاله دانلود کنید.



۵.۵ محاسبه تعداد آرماتور عرضی در سه گام

تاکنون با محدودیت های هندسی و ضوابط محاسباتی آرماتورهای عرضی آشنا شدیم و سعی شد تمامی بندهای آیین نامه ای مورد نیاز برای محاسبات آرماتور در قاب خمشی با شکل پذیری متوسط به طور کامل تشریح شود.

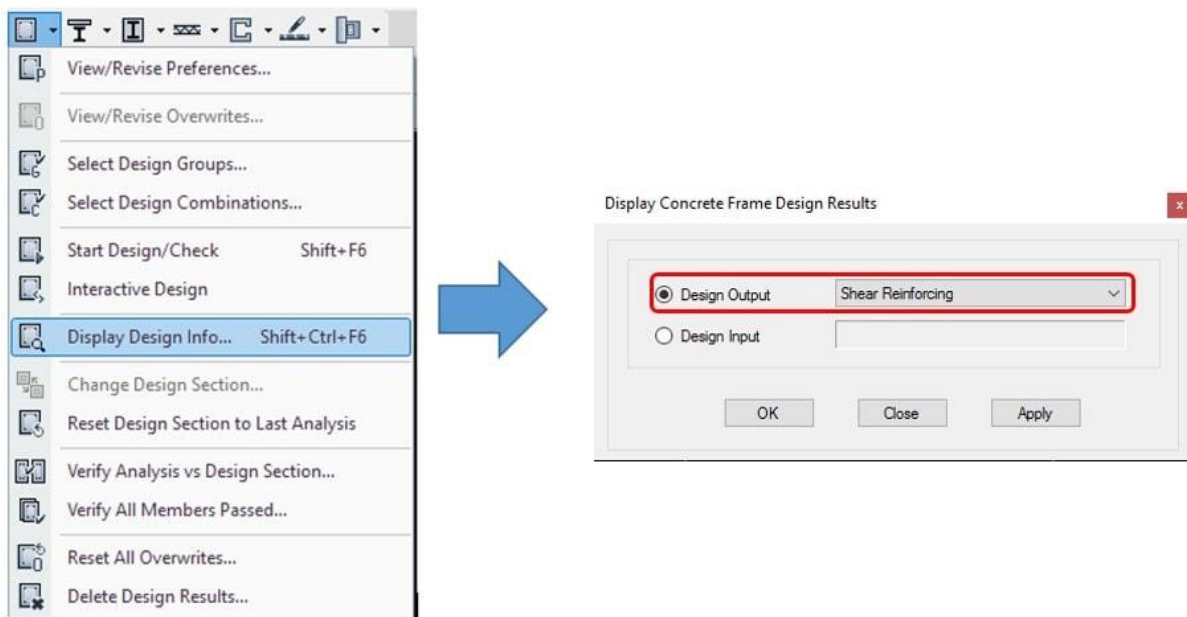
در لابه لای موارد بیان شده، برخی توصیه های اجرایی که برای ترسیم حرفه ای نقشه های سازه ای مورد نیاز بود، گفته شد. حقیقت امر آن است که ترسیم نقشه های سازه ای حرفه ای بیشتر از آن که نیازمند تسلط به متن آیین نامه باشد، نیازمند داشتن دید اجرایی و تجربه کارگاهی است؛ چراکه نقشه های سازه ای رابطه ای مابین مهندس طراح و مهندس مجری (یا پیمانکار) بوده و به نوعی نقش زبان مهندس طراح در کارگاه را بازی می کند.



در ادامه‌ی این مقاله سعی خواهیم کرد ضمن آموزش گام به گام محاسبه آرماتورهای عرضی از خروجی نرم افزار Etabs، موارد اجرایی و بندهای آیین نامه‌ای دیگری را که برای ترسیم نقشه مورد نیاز است، اشاره کنیم. از آنجایی که جمع بندی این قبیل موارد و بیان کتبی آن کمی دشوار و یا گاهی ابهام برانگیز است؛ قویاً توصیه می کنیم که عکس ها و فیلم های اجرایی، گزارشات کارآموزی دانشجویان از کارگاه ها، کتب و جزوات مربوط به درس اجرا و ... را بررسی و مطالعه کنید تا به دید اجرایی بهتری برسید. چراکه عامل متمایزکننده‌ی یک اپراتور نرم افزار Etabs از یک مهندس عمران واقعی، طراحی سازه‌ی ایمن با اقتصادی ترین طرح ممکن است به نحوی که مشکلات و ابهامات اجرایی آن در کارگاه به حداقل ممکن برسد.

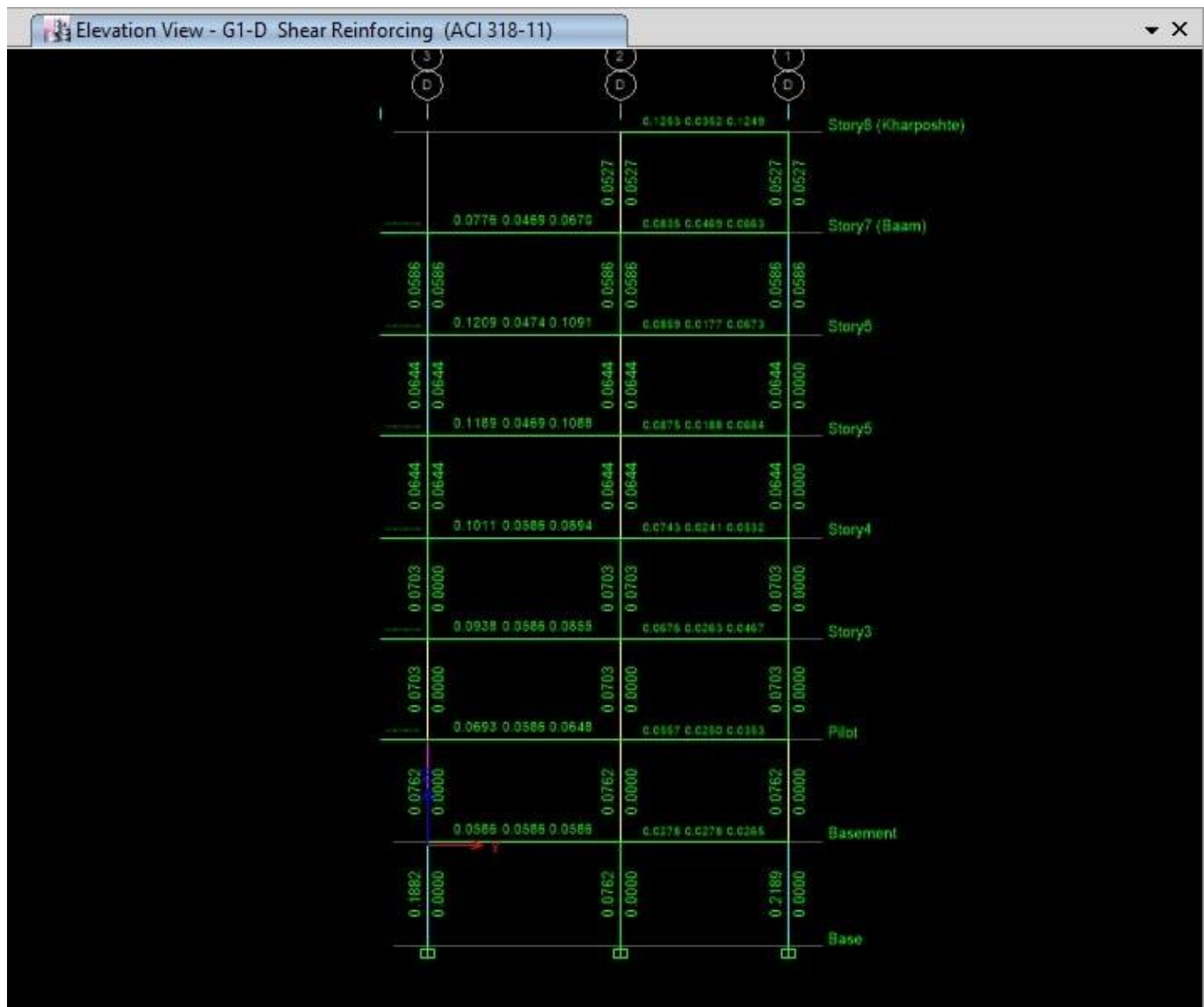
۱.۵.۵ گام اول: نحوه محاسبه میلگرد عرضی ستون در Etabs

نرم افزار Etabs مقدار میلگردهای عرضی ستون ها را همانند تیر به صورت نسبت A_v/S گزارش می کند. برای نمایش میلگردهای عرضی ستون ها، پس از آنالیز و طراحی سازه، می توان از مسیر زیر برای قرائت نسبت A_v/S تیرها اقدام کرد:



تصویر ۱۳: مشاهده آرماتورهای برشی در Etabs

پس از زدن دکمه ok، نسبت مساحت میلگرد عرضی به فاصله خاموت ها برحسب واحد نرم افزار در وسط ستون ها نمایش داده خواهد شد.



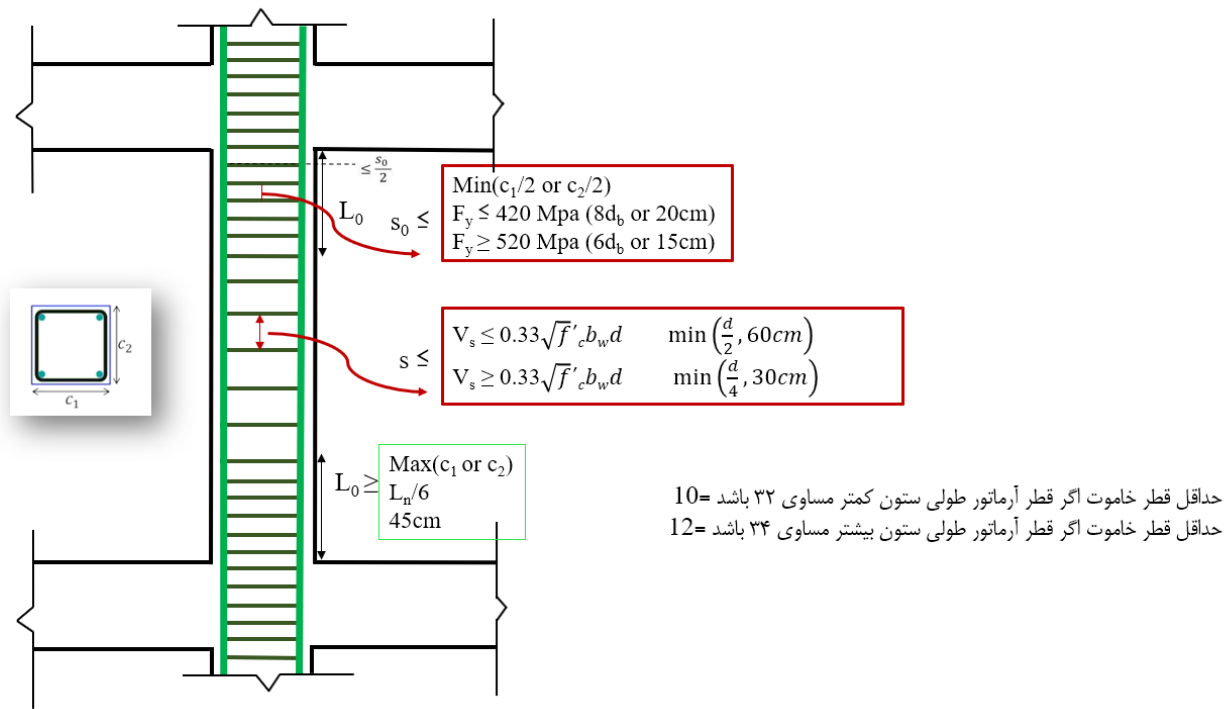
شکل ۱۴: مشاهده آرماتورهای برشی در Etabs

۲.۵.۵ گام دوم: نکات اجرایی خاموت‌های ستون:

ضوابط آیین‌نامه‌ای مربوط به آرماتورهای عرضی ستون‌ها در بند مختلفی آورده شده است که این ضوابط به طور کامل در قسمت‌های قبلی همین مقاله تشریح شده است.

۳.۵.۵ گام سوم: محاسبه تعداد میلگرد عرضی در ستون:

مراحل به دست آوردن تعداد و سائز خاموت‌های ستون بتنی دقیقاً مشابه مراحل محاسبه تعداد و سائز خاموت در تیرهاست؛ لذا از تشریح مجدد آن‌ها صرف نظر کرده و برای یادآوری ضوابط خاموت گذاری ستون از تصویر زیر که ضوابط خاموت گذاری به صورت خلاصه در آن اعمال گردیده است، استفاده کنید.



شکل ۱۵: محاسبه تعداد میلگرد عرضی در ستون بتنی

۶ طراحی دستی ستون بتنی

هنگامی که صحبت از طراحی دستی ستون های بتنی می شود ناخودآگاه به زمان های گذشته برمی گردیم؛ یعنی زمانی که نرم افزارهای مهندسی یا وجود نداشتند و یا به سطح از قدرت و پیشرفت امروزی خود نرسیده بودند. امروزه شاید علم طراحی دستی ستون بتنی کاربرد قدیم خود را نداشته باشد اما هنوز هم می توان از آن به عنوان یک دانش لازم و ضروری برای هر مهندس یاد کرد. زیرا ما به عنوان یک مهندس نیاز داریم تا گاهی نتایج به دست آمده از نرم افزار را بررسی کنیم تا مطمئن شویم که ستون ما به درستی طراحی شده است. همچنین یکی دیگر از مزیت های مهم این موضوع نشان دادن تفاوت توانایی شما به عنوان یک مهندس با یک اپراتور نرم افزار می باشد.

روش های مختلفی در طول زمان برای طراحی دستی ستون بتنی به کار برده می شد اما یکی از کارآمدترین روش ها روش منحنی هم بار PCA می باشد. در ادامه ما با استفاده از یک مثال سعی کرده ایم این روش را به صورت خلاصه به شما نشان دهیم. گفتنی است ما در اینجا با استفاده از اطلاعات فرضی خود روند کامل طراحی یک ستون بتنی را نشان می دهیم که شما می توانید با یادگیری این روش در زمان کمتر درستی مشخصات ستون بتنی خود را در نرم افزار Etabs چک کنید.

مقطع مناسب برای یک ستون تحت اثر بارها و مشخصات داده شده طراحی کنید.



$$P_u = 5400 \text{ KN}, M_{ux} = 411.48 \text{ KN.m}, M_{uy} = 175.45 \text{ KN.m}, C28, S400$$



این مثال در ۳ مرحله زیر به صورت گام به گام حل شده است که با هم آن‌ها را بررسی می‌کنیم اما در همین ابتدا لازم به ذکر است که دیاگرام‌های درج شده در این قسمت از آیین‌نامه‌های قدیمی و از کتابچه همراه طراحی سازه‌های بتنی آیین‌نامه ۱۹-۳۱۸-ACI درج شده‌اند.

۱.۶ بررسی حداقل ابعاد مقطع

در همین ابتدای کار مشاهده می‌کنیم که بتن مورد نظر ما برای طراحی این ستون از نوع G28 بوده و به ما اجازه استفاده از میلگردهای S400 در ستون داده شده است.

نیروهای وارده به ستون شامل دو لنگر و یک نیروی محوری می‌شوند. P_u یا همان نیروی محوری ما برابر ۵۴۰۰ کیلو نیوتن بوده و لنگرها در راستای X و Y به ترتیب برابر ۴۱۱٫۴۸ و ۱۷۵٫۴۵ کیلو نیوتن در متر می‌باشند.

در همین ابتدا ما فرض می‌کنیم که اگر ستون مورد نظر ما، تنها نیروی محوری را تحمل می‌کند و لنگری به آن وارد نمی‌شود چه ابعادی داشت؟ اگر با ما موافق باشید برای این کار لازم است تا مقاومت فشاری ستون بیشتر از نیروی محوری وارده به آن باشد. با استفاده از تناسب زیر که از طریق رابطه درج شده در بند ۹-۸-۳ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان به دست آمده؛ این مورد را به راحتی بررسی می‌کنیم:

$$P_u \leq \phi 0.8 P_0$$

$$\rightarrow P_u \leq \phi 0.8 [0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + (A_{st} \times f_y)]$$

A_g : مساحت سطح مقطع کل ستون بتنی

f'_c : مقاومت فشاری مشخصه بتن

A_{st} : سطح مقطع فولادهای طولی

f_y : مقاومت تسلیم مشخصه آرماتور

ϕ : ضریب کاهش مقاومت

در این قسمت برای اینکه می‌خواهیم به نحوی تحمل تمامی تنش را برای مقطع بتنی در نظر بگیریم باید مساحت آرماتورهای طولی که شش‌شی را حداقل در نظر بگیریم که همان‌طور که بالاتر دیدیم طبق آیین‌نامه این حداقل برابر ۱ درصد می‌باشد. همچنین در نظر داشته باشید که در اینجا ضریب کاهش مقاومت بر اساس جدول ۹-۷-۲ از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان برابر ۰٫۶۵ در نظر گرفته می‌شود. حال اعداد را با توجه به اطلاعات داده شده وارد می‌کنیم تا مساحت مقطع بتنی را تخمین بزنیم.

$$5400000 \leq 0.65 \times 0.8 [(0.85 \times 28) \times (A_g - 0.01A_g) + (0.01A_g \times 400)]$$

$$\rightarrow A_g \geq \frac{5400000}{0.52 \times (23.56 + 4)} = 376772.92 \text{ mm}^2$$

از این عدد به دست آمده نتیجه می‌گیریم که اگر بخواهیم یک ستون متعارف در نظر بگیریم ابعاد آن می‌تواند در حدود ۶۰۰×۶۰۰ باشد. حال شاید با خود بگویید که این مقطع تنها برای تحمل نیروی محوری مناسب است و با وجود لنگرها مقاومت خود را از دست داده و آسیب می‌بیند. برای رفع این مشکل باید تعداد میلگردهای طولی را در این ستون افزایش داد.



۲.۶ بررسی دیاگرام و ترکیب لنگرها

در این بخش، ابتدا دیاگرام برداشته شده از آیین نامه را مشاهده می کنیم:

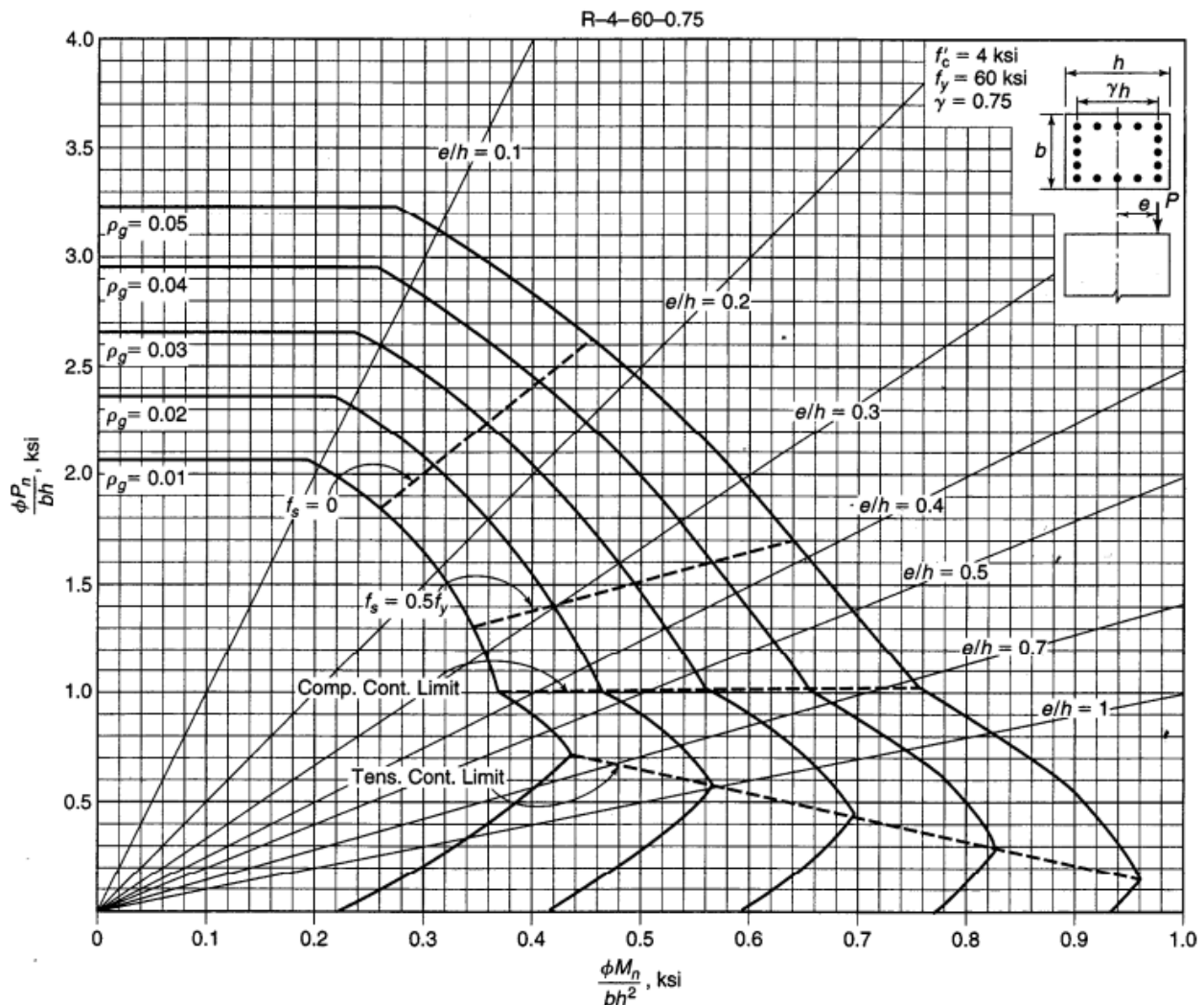


Fig. A-9b
Nondimensional interaction diagram rectangular for tied column with bars in two faces: $f'_c = 4000$ psi and $\gamma = 0.75$.

اگر به آیین نامه گفته شده مراجعه کنید تعداد نمودارهای مشابه زیادی با این نمودار را در آنجا خواهید دید؛ اما چرا این نمودار؟

برای پاسخ به این سؤال نظر شما را به اطلاعات درج شده در گوشه نمودار جلب می کنیم. با استفاده از این اطلاعات می توان تشخیص داد که دیاگرام مشخص شده برای ستون ما مناسب است و یا نیست. ستون موردنظر ما همان طور که گفته شد یک ستون بتنی با مقطع مربع یا مستطیل شکل است. در اطلاعات داده شده هم مفهوم f_y و f'_c توضیح داده شدند که اگر دقت داشته باشید در اینجا واحد آن ها بر اساس ksi می باشد و با تبدیل واحد می بینیم که در منظور همان بتن با مشخصه ۲۸ مگاپاسکال و میلگردهای طولی با مقاومت ۴۲۰ مگاپاسکال است. اما مورد سوم که یکی دیگر از دلایل مهم انتخاب این دیاگرام می باشد مقدار مشخص شده برای گاما (γ) است.

اما گاما (γ) چیست؟ گاما بیان می کند که فاصله مرکز تا مرکز میلگردها چه کسری از ابعاد مقطع ستون بتنی است و برای به دست آوردن آن از فرمول زیر استفاده می کنیم:



$$\gamma = \frac{b - 2(\text{شعاع میلگرد استفاده شده} + \text{قطر خاموت حداقل} + \text{پوشش خالص مقطع})}{h}$$

ما در اینجا به صورت فرضی میلگرد $\phi 28$ را در نظر می گیریم و برای خاموت حداقل نیز طبق آیین نامه $\phi 10$ قرار می دهیم در نتیجه گاما برای ما به صورت زیر به دست می آید:

$$\gamma = \frac{600 - 2 \times (40 + 10 + 14)}{600} = 0.78$$

همان طور که مشاهده می کنید مقدار به دست آمده بسیار نزدیک با مقدار درج شده بر روی نمودار می باشد و به دلیل تقریبی بودن این محاسبات از اختلاف کم آنها صرف نظر می کنیم.

در ادامه به بررسی محورهای افقی و عمودی نمودار می پردازیم. همان طور که مشخص است محور افقی مربوط به نیروی لنگرها می باشد اما اگر دقت کنید در ابتدای این مثال ذکر شده که ما در دو جهت X و Y لنگر داریم اما در اینجا تنها از یک لنگر به نام M_n (با ضریب اطمینان) یاد شده است. این لنگر ترکیبی از دو لنگر می باشد و برای به دست آوردن آن می توان از فرمول زیر که در آیین نامه ذکر شده در اول مثال، درج شده است استفاده کرد.

$$M_{oy} = M_{ny} + M_{nx} \left(\frac{b}{h} \right) \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) \quad (D.2.3g)$$

$$\text{For } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{M_{oy}}{M_{ox}} \text{ or } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h} \quad (D.2.3f)$$

where b and h are dimensions of the rectangular column section parallel to x- and y-axes, respectively. Using the straight line approximation equations, the design problem can be solved by converting nominal moments into equivalent uniaxial moment capacities M_{ox} or M_{oy} . This is accomplished by:

- Assuming a value for b/h
- Estimating β as 0.65
- Calculating the approximate equivalent uniaxial bending moment using Eq. (D.2.3e) or (D.2.3f)
- Choosing the trial section and reinforcement using the methods for uniaxial bending and axial load.

The trial section should be verified using the load contour method or the reciprocal load method.

اگر بخواهیم به طور خلاصه و ساده رابطه بالا را برای شما توضیح دهیم به این صورت می توان گفت که در ابتدا باید بررسی کنیم کدام لنگر بزرگتر از آن یکی است و سپس آن را به عنوان لنگر اصلی فرض کنیم که در اینجا لنگر M_{ux} بزرگتر از لنگر M_{uy} می باشد. همچنین در ادامه ضریب بتا (β) را مشاهده



می‌کنیم اما به دلیل توضیحات خارج از بحث تنها به این ضریب اشاره کنیم که در خود آیین‌نامه ذکر شده تا به صورت تقریبی و برای ستون‌های با میلگرد گذاری متعارف، آن را برابر با ۰.۶۵ در نظر بگیرید.

در ادامه برای به دست آوردن M_{oux} یا همان ϕM_n طبق رابطه درج شده داریم:

$$\phi M_n = 411.48 + \left\{ 171.45 \left(\frac{600}{600} \right) \left(\frac{1 - 0.65}{0.65} \right) \right\} = 503.8 \text{ KN.m}$$

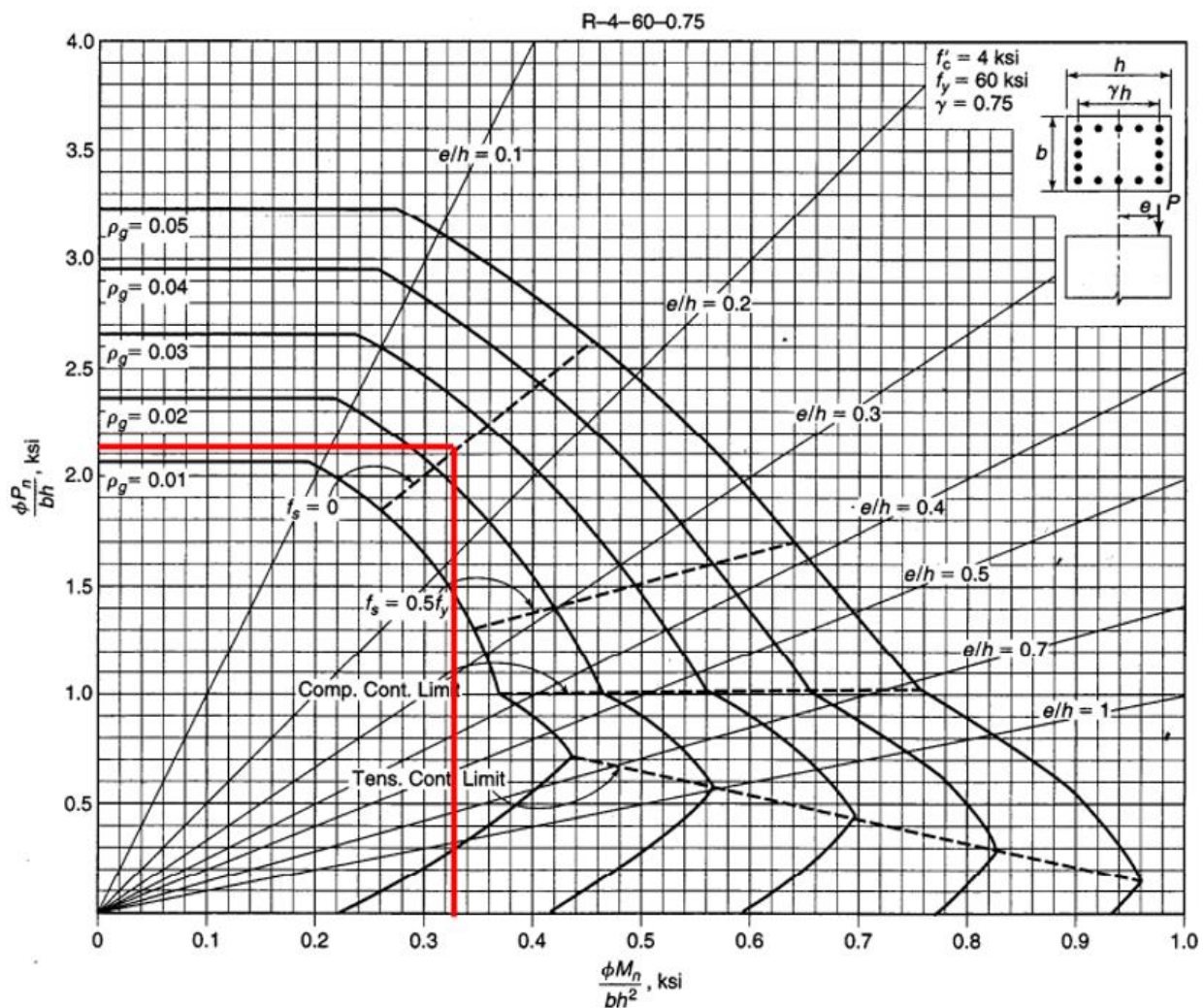
نکته: دقت کنید که در اینجا و در حالت مرزی $M_{oux} \leq \phi M_n$ می‌باشد به همین دلیل ما آن‌ها را یکی فرض می‌کنیم.

در مرحله آخر مقادیر نیروها را همان‌طور که در دیاگرام مشخص شده تقسیم بر مقادیر مشخص شده می‌کنیم تا مشخصات نقطه مورد نظر را در نمودار بیابیم.

$$\frac{p_u}{bh} = \frac{5400000}{600^2} = 15 \text{ MP} = 2.14 \text{ ksi}$$

$$\frac{M_{oux}}{bh^2} = \frac{503.8 \times 10^6}{600^3} = 2.33 \text{ MP} = 0.33 \text{ ksi}$$

حال بر روی نمودار مشخص می‌کنیم که اعداد به دست آمده در محورهای افقی و عمودی چه نقطه‌ای را به ما نشان می‌دهند.



شکل ۱۶: مشخص کردن محل نقطه در روی دیاگرام



همان طور که در تصویر بالا معلوم است با استفاده از خطوط روی نمودار مقدار ρ_g (نسبت مساحت آرماتورها به مقطع) حدوداً برابر ۲٫۵ درصد می باشد. پس یعنی ما باید در ستون خود میلگردهایی را با تعداد مشخص انتخاب کنیم که نسبت مساحت آن ها به کل مقطع بزرگتر مساوی ۲٫۵ درصد باشد. همان طور که بالاتر دیدیم ما میلگردهای خود را $\phi 28$ در نظر گرفتیم البته در اینجا می توانیم اندازه فرضی خود را با آزمون و خطا افزایش و یا کاهش دهیم تا به مناسب ترین اندازه دست یابیم.

برای مثال با مقدار کمتر شروع کرده و ابتدا فرض می کنیم ستون ما دارای ۱۶ عدد آرماتور $\phi 25$ می باشد. حال چک می کنیم مساحت این تعداد و این قطر از آرماتورها بزرگتر مساوی ۲٫۵ درصد مقطع ستون بتنی ما می باشد یا نه؟

$$\frac{\text{مجموع مساحت مقطع آرماتورها}}{\text{مساحت کل مقطع ستون}} = \frac{16 \times (490.87)}{600 \times 600} = 0.0218 = 2.18\%$$

عدد به دست آمده کوچکتر از مقدار لازم یعنی ۲٫۵ درصد می باشد پس استفاده از این مقدار صحیح نیست! 

در حالت بعدی از ۱۶ میلگرد $\phi 28$ استفاده می کنیم حال باهم بررسی می کنیم که این میزان از آرماتور پاسخگوی ستون بتنی ما است و یا نه؟

$$\frac{\text{مجموع مساحت مقطع آرماتورها}}{\text{مساحت کل مقطع ستون}} = \frac{16 \times (615.7)}{600 \times 600} = 0.0273 = 2.73\%$$

عدد به دست آمده از ۲٫۵ درصد بیشتر بوده و همچنین خیلی بزرگتر از این مقدار نمی باشد تا مقدار به دست آمده ما غیراقتصادی شود و این یعنی ما به مقدار صحیحی از نوع و تعداد آرماتور دست پیدا کرده ایم. 

۳.۶ بررسی نتایج حاصله با استفاده از روش بار معکوس:

روش بار معکوس یکی دیگر از روش های قدیمی برای محاسبه و طراحی دستی ستون های بتنی می باشد، این روش نیز به مانند روش منحنی هم بار PCA ضوابط و روابط خاص خود را دارد. اما روش منحنی هم بار روش قدرتمندتر، دقیق تر و پیچیده تری نسبت به این روش است؛ از این رو ما در اینجا به طور خلاصه تنها برای چک کردن و اثبات درستی نتیجه نهایی به دست آمده از مثال قبل از این روش استفاده می کنیم و آن را برای شما توضیح می دهیم.

خب در ابتدا می گوییم ستون ما یک ستون با ابعاد مقاطع، تعداد و نوع میلگرد مشخص می باشد. سپس ما در اینجا می بینیم مقاومت فشاری خالص (P_0) ستون ما چقدر است؟ برای این کار باید مقدار P_0 را طبق فرمول درج شده در قسمت زیر برای آن محاسبه می کنیم.

$$P_0 = 0.85f'_c(bh) + (F_y - 0.85f'_c) \times A_s$$

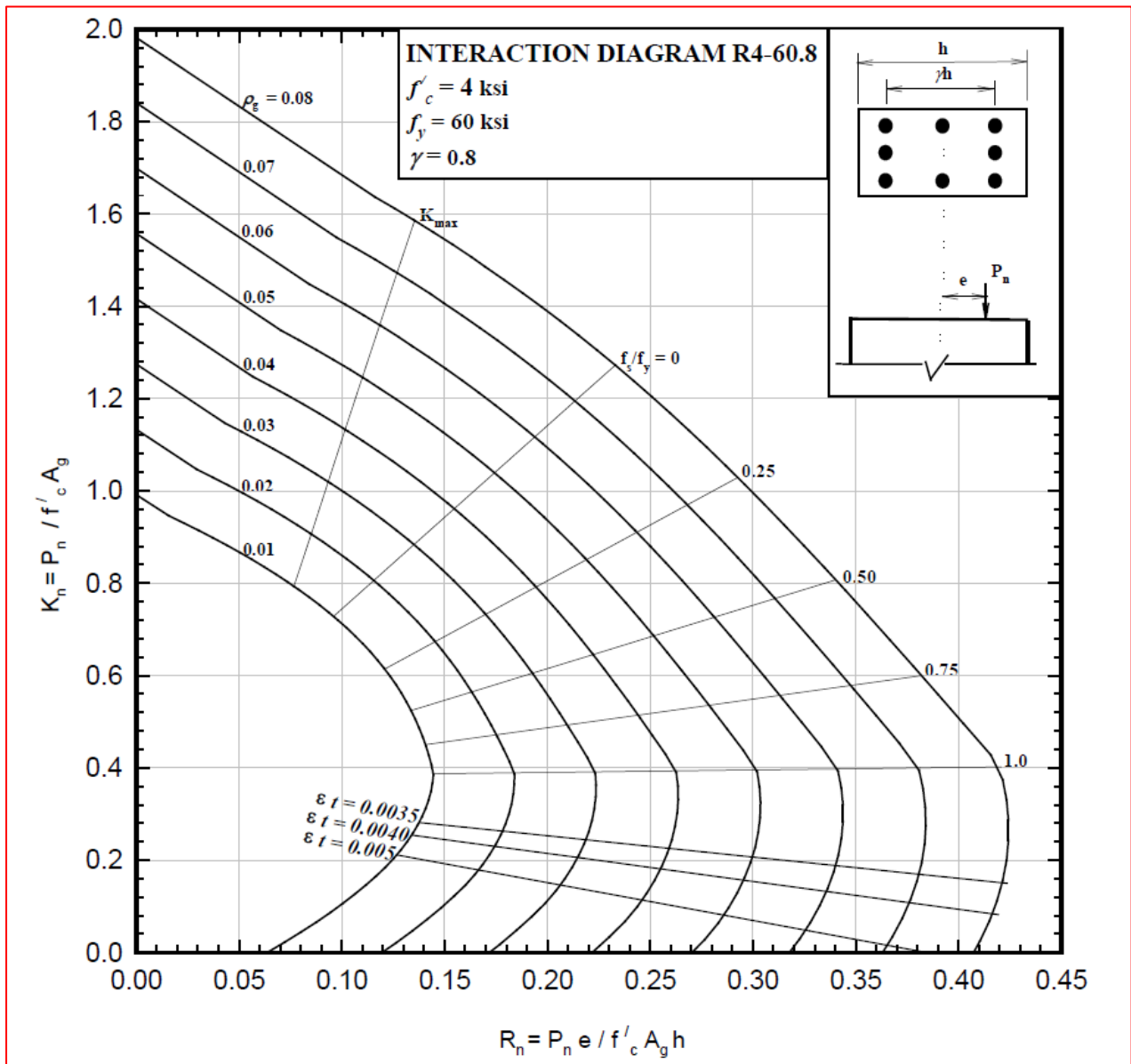
با همان فرض مقطع با ابعاد 600x600 و میلگردهای $\phi 28$ مقدار مقاومت فشاری خالص ستون را به دست می آوریم.

$$P_0 = 0.85 \times 28(600^2) + \{420 - (0.85 \times 28)\} \times 9852 = 12471.37 \text{ KN}$$

نکته: شاید با خود بگویید P_0 یا همان مقاومت فشاری خالص چه زمانی حاصل می شود؟ که در پاسخ به بیان ساده می توان گفت همان طور که پیش تر دیدیم این مقاومت زمانی حاصل می شود که ما فرض کنیم ستون ما هیچ لنگری را تحمل نمی کند.



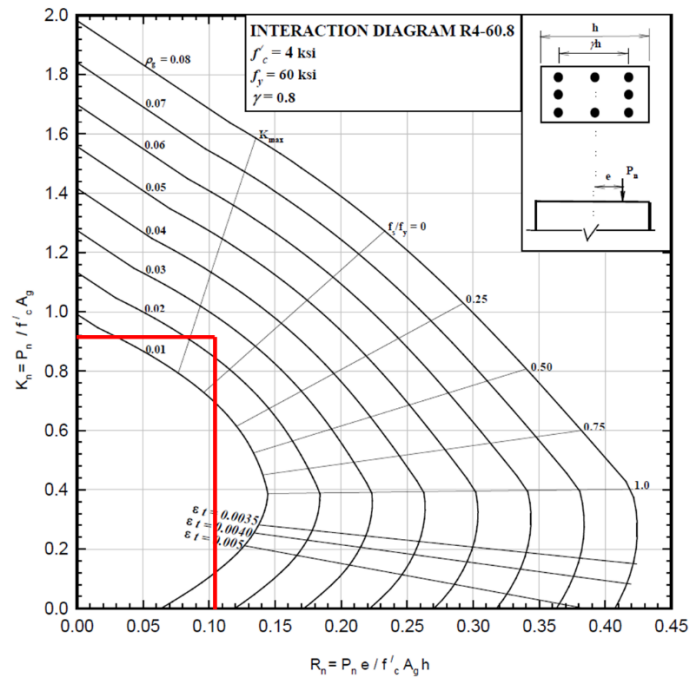
در ادامه ما به صورت تک به تک نیروهای لنگر را طبق فرمول درج شده در محور افقی نمودار زیر تقسیم بر $f'_c(bh^2)$ می کنیم تا ببینیم با وجود هر لنگر مقدار مقاومت فشاری ستون مورد نظر ما چقدر می شود.



۱. ابتدا به سراغ لنگر M_{nx} می رویم:

$$\frac{M_{nx}}{f'_c A_g h} = \frac{411.48 \times 10^6}{0.65 \times 28(600^3)} = 0.105$$

در نتیجه با مشخص کردن نقطه مورد نظر روی محور افقی نمودار و امتداد دادن آن بر اساس ρ_g حدودا برابر با ۰،۰۲، می فهمیم که مقدار $\frac{P_{nx}}{f'_c A_g}$ ما تقریبا برابر ۰،۹۲ می باشد.



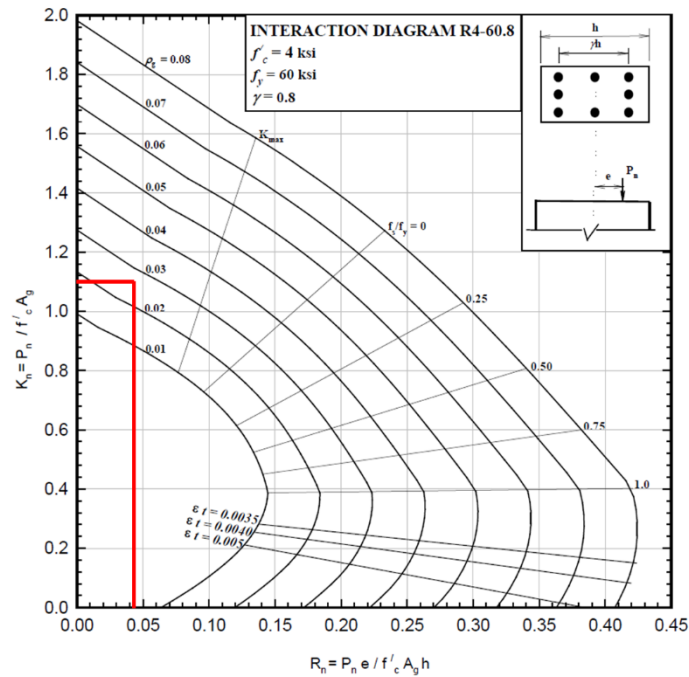
شکل ۱۷: پیدا کردن مختصات $\frac{P_{nx}}{f'_c A_g}$

حال که مقدار $\frac{P_{nx}}{f'_c A_g}$ را پیدا کردیم مقدار دقیق خود P_{nox} را به دست می آوریم.

$$P_{nox} = 0.92 \times (28 \times 600^2) = 9273600 \text{ N} = 9273.6 \text{ KN}$$

۲. حال یک بار دیگر همین پروسه را برای لنگر M_{ny} انجام می دهیم:

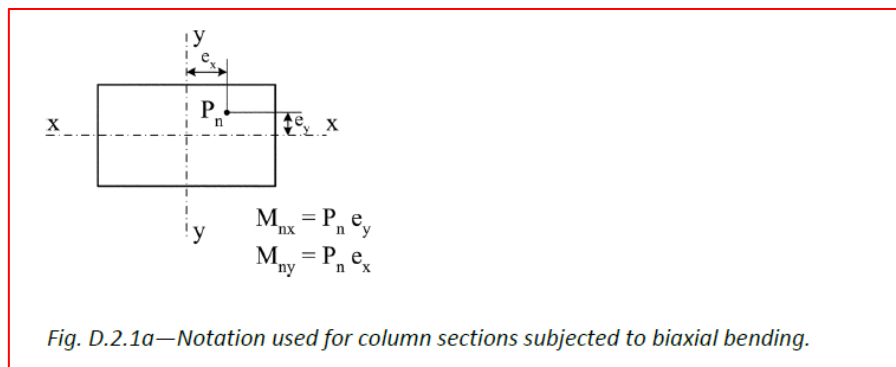
$$\frac{M_{ny}}{f'_c A_g h} = \frac{171.45 \times 10^6}{0.65 \times 28(600^3)} = 0.0436 \rightarrow \frac{P_{ny}}{f'_c A_g} = 1.1$$



شکل ۱۸: پیدا کردن مختصات $\frac{P_{ny}}{f'_c A_g}$

$$P_{noy} = 1.1 \times (28 \times 600^2) = 11088000 \text{ N} = 11088 \text{ KN}$$

نکته: اگر به محور افقی نمودار دقت کنید می بینید که از $P_n e$ به جای M_n استفاده کرده است. برای توضیح این موضوع می توان به تصویر زیر از آیین نامه اشاره داشت.



در انتها به سراغ یکی دیگر از فرمول های اصلی روش طراحی بار معکوس می رویم تا با استفاده از آن P_n (ظرفیت محوری ستون تحت اثر لنگرهای همزمان M_x و M_y) را به دست بیاوریم.



$$\frac{1}{P_{ni}} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_0} \quad (D.2.2a)$$

where

P_{ni} = approximation of nominal axial load strength at eccentricities e_x and e_y

P_{nx} = nominal axial load strength for eccentricity e_y along the y -axis only (x -axis is axis of bending)

P_{ny} = nominal axial load strength for eccentricity e_x along the x -axis only (y -axis is axis of bending)

P_0 = nominal axial load strength for zero eccentricity

با استفاده از فرمول بالا P_n ستون بتنی ما به صورت زیر به دست می آید:

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{9273.6} + \frac{1}{11088} - \frac{1}{12471.37} \rightarrow P_n = 8486.30 \text{ KN} \rightarrow \phi P_n = 5516.09 \text{ KN}$$

همان طور که مشاهده می شود مقدار به دست آمده با مقدار فرض شده در روی مثال قبلی یعنی P_u اختلاف چندانی ندارد و از اختلاف آن ها به دلیل تقریبی بودن این روش ها می توان صرف نظر نمود و در نتیجه می توان گفت طراحی و محاسبات انجام شده از مقادیر درست و صحیحی برخوردارند.

۷ ناگفته های ستون بتنی

در این بخش به بررسی برخی مفاهیم ساده و کاربردی مربوط به ستون های بتنی در مهندسی عمران می پردازیم که شاید در طول مقاله کمتر به آن ها اشاره کردیم.

- حداکثر فاصله بین دو ستون بتنی:
تعیین حداکثر فاصله دو ستون به عوامل مختلفی بستگی دارد و برای این کار باید به پلان معماری و البته نوع سازه انتخاب شده توسط مهندس محاسب و با محاسبه بارهای وارده بر ساختمان می توان محدوده تقریبی محل ستون ها را تشخیص داد.
البته در انتخاب این که فواصل ستون ها به چه میزان باشد عوامل مختلف دیگری نیز تأثیرگذار هستند که از جمله آن ها می توان به موارد زیر اشاره داشت:
- ستون ها تا جای ممکن و به صورت تقریبی با فاصله یکسان از هم قرار گیرند.
- انتخاب محل ستون ها به گونه ای باشد که از زیبایی ساختمان و ارتباط بین قسمت های مختلف آن نکاهد.
- محل قرارگیری ستون های بتنی در پارکینگ ساختمان باعث ایجاد فضاهای پرت و مزاحم برای تردد خودروها نشود.
- انتخاب محل قرارگیری و فاصله مابین دو ستون به نحوی باشد که بتوان با حداقل تعداد ستون تمامی بارهای وارده را، به زمین منتقل نمود
- ستون ها تا جای ممکن درون دیوارها، کمد های دیواری و جرزها مخفی شوند.



- برای تعیین محل قرارگیری ستون‌ها به قسمت‌های اساسی ساختمان (داکت‌ها، نورگیرها، آسانسور و دستگاه پله) توجه شود؛ توصیه می‌شود در چهارگوشه دستگاه پله ستون پیش‌بینی شود.

- فاصله ستون‌ها در مقاوم‌سازی‌های بتنی برای یک ساختمان با کاربری مسکونی معمولاً ۲ تا ۷ در نظر گرفته می‌شود.

در ادامه در نظر داشته باشید که در آیین‌نامه‌ها محدودیتی برای فواصل میان ستون‌ها در نظر گرفته نشده است و به همین دلیل باید به از لحاظ اجرایی و ضوابط معماری فواصل مناسب بین ستون‌ها را تعیین کرد. از این رو نمی‌توان برای تمامی ساختمان‌ها یک عدد خاصی را پیشنهاد داد اما کم شدن دهانه‌های ستون تا دهانه‌هایی در حدود ۴ الی ۵ متر معمولاً معقول و مناسب می‌باشد که باعث اقتصادی شدن طرح نیز می‌شود.

• طول وصله پوششی میلگرد ستون بتنی:

برای به دست آوردن طول وصله پوششی در میلگردهای ستون بتنی باید به مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و به قسمت ۹-۲۱-۴-۲ مراجعه کرد. در این قسمت مشاهده می‌شود که طول وصله میلگردهای آجدار و سیم‌های آجدار در کشش (l_{st}) در حالت کلی باید برابر با ۱,۳ برابر طول گیرایی آن‌ها (l_d) باشد. البته در این بند ذکر شده اگر دو شرط زیر رعایت شود می‌توان این مقدار را به 1.0 l_d کاهش داد:

- مقدار آرماتور موجود در طول وصله، حداقل دوبرابر مقدار آرماتور موردنیاز باشد

- حداکثر نصف آرماتور موجود در طول وصله پوششی، وصله شده باشد.

البته در این بند از آیین‌نامه می‌بینیم که ذکر شده در هر حال حداقل طول وصله پوششی در کشش برابر با ۳۰۰ میلی‌متر است.

• چند نکته مهم اجرایی و نظارتی ستون بتنی:

- کنترل تعداد و سائز میلگردهای طولی و عرضی یعنی نمره میلگردها و تعدادشان دقیقاً مطابق نقشه باشد و همچنین کنترل خم استاندارد خاموت‌ها و چرخش این خم در دورتادور ستون

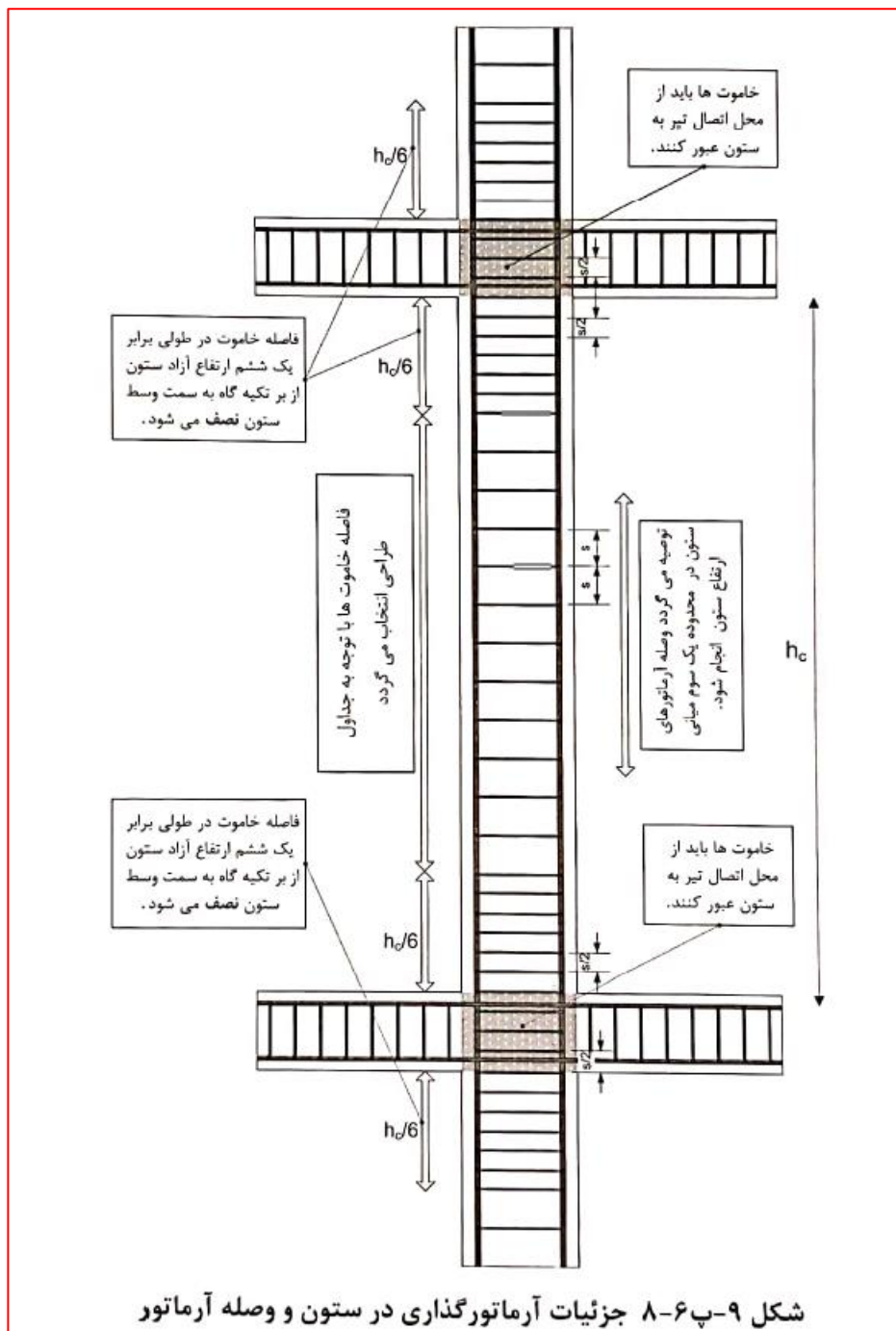
- رعایت خم استاندارد در محل اورلب، این کار برای آرماتورهای چهاروجه ستون بسیار ضروری می‌باشد و این اقدام باعث می‌شود که آرماتورهای بالایی اورلب شده در مسیر آرماتورهای پایینی قرار بگیرند و کاور و فاصله خاموت‌ها از آرماتورهای اصلی به‌صورت صحیح رعایت شوند.

- کنترل محل اورلب که در سازه‌های قاب خمشی متوسط توصیه می‌شود در یک‌سوم میانی ارتفاع ستون باشد ولی در سازه‌های قاب خمشی ویژه الزام می‌باشد که در یک‌سوم میانی اورلب انجام شود.

- خم کردن آرماتورهای سقف طبقه آخر در بتن یا طبق پیوست ششم آیین‌نامه ۲۸۰۰، امتداد آرماتورها به ارتفاع جان‌پناه و خم کردن سر آرماتورها داخل ستونچه و بتن‌ریزی ستونچه در روی پشت‌بام

- طبق بند ۹-۲۰-۵-۳-۲ محل وصله آرماتورهای طولی ستون باید در خارج از ناحیه اتصال تیر به ستون باشد؛ یعنی ما نمیتوانیم در چشمه اتصال از وصله استفاده کنیم. این موضوع یکی از نکات مهمی است که در ویرایش جدید (پنجم) به قواعد آیین‌نامه اضافه شده است.

- پیوست ششم مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش سال ۱۳۹۹ یک تصویر برای نمایش جزئیات آرماتورگذاری در ستون قرار داده است که می‌تواند راهنمای تصویری خوبی برای مرور جزئیات آرماتورگذاری ستون‌های بتنی باشد.



• میلگرد سنجاقی در ستون بتنی:

این میلگرد برای مقاومت بیشتر در برابر نیروهای برشی در ستون‌های بتنی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ عملکرد این آرماتور در هنگام زلزله بسیار مهم بوده و کارآمدی بالایی را برای ستون به همراه دارد. شکل ظاهری آرماتور سنجاقی به صورت یک میلگرد طولی با دو انتهای خم داده شده است که در ادامه دو نوع از این خم‌ها را طبق آیین‌نامه معرفی می‌کنیم:

- میلگرد سنجاقی با دو خم ۹۰ درجه:

در این حالت دو خم استاندارد ۹۰ درجه در دو انتهای میلگرد ایجاد می‌شود که بر اساس جدول ۹-۲۱-۲ از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان طول این خم به میزان ۱۲ برابر قطر میلگرد به کار برده می‌شود

- میلگرد سنجاقی با خم یک طرف ۹۰ درجه و یک طرف ۱۳۵ درجه:

در این حالت ما در یک سمت یک خم استاندارد ۹۰ درجه و در سمت دیگر یک خم استاندارد ۱۳۵ درجه به شکل چنگک در سمت دیگر است.



یکی از نکات اجرایی مهم مربوط به سنجاقی‌ها در ستون‌های بتنی رعایت چرخش صحیح آن‌ها و مهار درست خاموت‌ها می‌باشد. بدین صورت که همان‌طور که گفته شد سنجاقی دارای یک سر ۹۰ درجه و یک سر ۱۳۵ درجه می‌باشد که باید به صورت یک‌درمیان جهت این خم‌ها عوض شود و باید آرماتور طولی ستون را مهار کند. سنجاقی‌ها چه در جهت عمود و چه در جهت افقی باید جهت خم قلاب‌ها تغییر کرده و آرماتور طولی ستون را مهار می‌کنیم.

۸ نتیجه‌گیری

۱. آیین‌نامه برای اجرای انواع المان‌های سازه‌ای، در بندهای مختلف محدودیت‌ها و ضوابطی را در نظر گرفته است.
۲. مهندس طراح علاوه بر تسلط و اعمال این بندها در ترسیم نقش‌های اجرایی، بایستی از تجربه کارگاهی و دید اجرایی خوبی برخوردار باشد تا نقشه‌های ترسیمی او کمترین ابهام و دشواری را در اجرا داشته باشد.
۳. نقشه‌های اجرایی مورد استفاده در کارگاه‌های ساختمانی نقش زبان مهندس طراح پروژه را بازی می‌کند؛ لذا لازم است این نقشه تا حد امکان شفاف و عاری از هرگونه ابهام باشند.
۴. در کنار رعایت این بندها توسط محاسب سازه، لازم است مقاطع مورد استفاده در نقشه‌ها دارای نظم مخصوص به خود باشند که اصطلاحاً آن را «تیپ بندی مقاطع» می‌نامند.
۵. در تیپ بندی مقاطع سعی می‌شود تنوع ابعاد، تعداد و سائز و طول آرماتورها و ... در پلان و ارتفاع در حد معقولی باشد تا خطاهای اجرایی به حداقل برسند.

منابع

۱. [مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۹](#)
۲. جزوه طراح سازه‌های بتنی دکتر حسین‌زاده اصل
۳. ACI Reinforced Concrete Design Handbook A Companion to ACI 318-19
۴. آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴
۵. Standard Method of Detailing Structural Concrete- Third Edition
۶. Manual For Detailing Reinforced Concrete Structure To EC2 – by Josa Calavera
۷. Seismic Detailing of Concrete Buildings – by David A.Fanella

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر برای شرکت مهندسی سبز سازه محفوظ می‌باشد و هرگونه کپی‌برداری، تقلید یا بازنشر غیرقانونی بوده و تحت پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.



دوره تخصصی طراحی سازه سبزسازه (ویژه بازار کار)

تور طراحی سازه شبیه سازی یک دوره ۳ ساله هست که در مدت ۱۲ ماه به شیوه نوین پروژه آزمونی، جزئی ترین نکات تخصصی طراحی سازه را یاد می گیرید. در این دوره شما تنها با فیلم، آموزش نمی بینید. چون فیلم همه جا یافت می شود!

- ✓ بیش از ۱۲۰ ساعت فیلم آموزش مفهومی طراحی سازه های مسکونی، اداری و صنعتی به همراه مثال های کاربردی و واقعی بازار کار
- ✓ انجام سه پروژه تمرینی برای سنجش تسلط به طراحی انواع سازه متداول
- ✓ آزمون، پروژه نهایی و دفاع از پروژه در مقابل کنترلر نظام مهندسی
- ✓ مشاوره تخصصی و پشتیبانی علمی در گروه تلگرامی به مدت ۱۲ ماه
- ✓ اعطای گواهینامه سبزسازه پس از قبولی در آزمون نهایی با امضای کنترلر نظام مهندسی
- ✓ ۱۲ ساعت آموزش ارزش آفرینی برای رسیدن به ارزش درآمدی مدنظر تان
- ✓ آموزش های پیشرفته طراحی سازه (طراحی شمع و ریزشمع، دیوار حائل، رمپ سازه ای، بیمارستان، وال پست و ...)

سه فاکتور مهم تبدیل شدن به یک طراح خبره

داشتن درک درستی از اجرا

توانایی ارائه طراحی بهینه

تسلط همه جانبه و دید مهندسی

ما شما را برای کسب این سه مهارت آماده خواهیم کرد.

برای اطلاعات بیشتر روی لینک زیر کلیک کنید:

sbz.one/atts