

ضوابط طراحی و آرماتورگذاری تیرها در قاب‌های با شکل‌پذیری متوسط

در سازه‌های بتن‌آرمه با شکل‌پذیری متوسط، تیرها نقش حیاتی در تأمین مقاومت خمشی و پایداری جانبی قاب‌ها دارند. طراحی صحیح تیرها مطابق با الزامات آیین‌نامه‌ای، تضمین‌کننده‌ی رفتار مناسب سازه در برابر زلزله است. در این بخش، ضوابط هندسی، آرماتورهای طولی و عرضی، و محدودیت‌های خمشی تیرها بر اساس بندهای 9-20-5-2 تا 9-20-5-4 مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تشریح می‌شوند.

۱. محدودیت‌های هندسی تیرها (بند ۹-۲۰-۵-۱)

۹-۲۰-۵-۱-۱ در این تیرها محدودیت‌های هندسی (الف) تا (پ) این بند باید رعایت شوند:

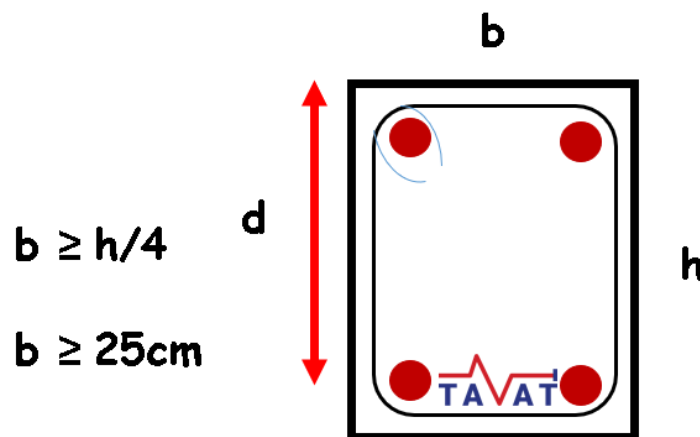
الف- ارتفاع مؤثر مقطع نباید بیش‌تر از یک چهارم طول دهانه آزاد باشد.

ب- عرض مقطع نباید کم‌تر از یک چهارم ارتفاع آن و ۲۵۰ میلی متر باشد.

پ- عرض مقطع نباید بیش‌تر از دو مقدار زیر باشد:

- عرض عضو تکیه‌گاهی در صفحه‌ی عمود بر محور طولی تیر، به اضافه‌ی سه چهارم ارتفاع تیر در هر طرف عضو تکیه‌گاهی؛

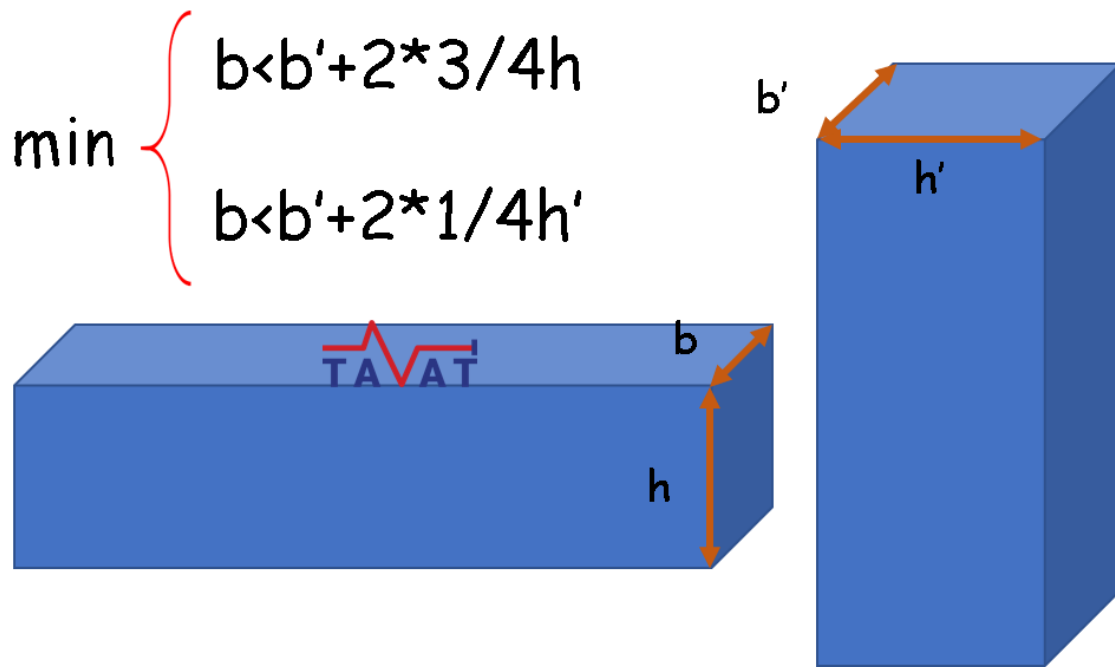
- عرض عضو تکیه‌گاهی به اضافه‌ی یک چهارم بعد دیگر مقطع در هر طرف عضو تکیه‌گاهی.



طبق این بند، تیرها باید دارای تناسبات هندسی مشخصی باشند تا از نظر عملکرد خمشی و برشی رفتار مناسبی از خود نشان دهند. در ادامه، زیربندهای مهم این بخش توضیح داده می‌شود:

الف) نسبت ارتفاع مؤثر تیر به دهانه آزاد

بنا بر بند الف، ارتفاع مؤثر مقطع تیر نباید بیش از یک‌چهارم طول دهانه آزاد باشد. این محدودیت باعث می‌شود تیرها از حالت «عمیق» خارج شده و رفتار خمشی کنترل‌پذیر داشته باشند. تیرهای خیلی عمیق معمولاً رفتار برشی غالب دارند که با اصول شکل‌پذیری سازگار نیست.



ب) عرض تیر نسبت به ارتفاع آن

مطابق بند (ب) همین بخش، عرض تیر نباید کمتر از یک‌چهارم ارتفاع مقطع و کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر باشد. این قید مانع از ایجاد تیرهای بسیار باریک می‌شود که در آن‌ها تراکم آرماتور بالا و اجرای بتن با کیفیت دشوار است.

پ) حداکثر عرض تیر

عرض تیر نباید بیشتر از دو برابر مقدار مشخص‌شده در بند پ باشد؛ یعنی در تیرهایی که به ستون متصل می‌شوند، عرض تیر در ناحیه تکیه‌گاهی باید متناسب با عرض ستون طراحی شود تا انتقال نیرو به‌صورت مؤثر انجام گیرد.

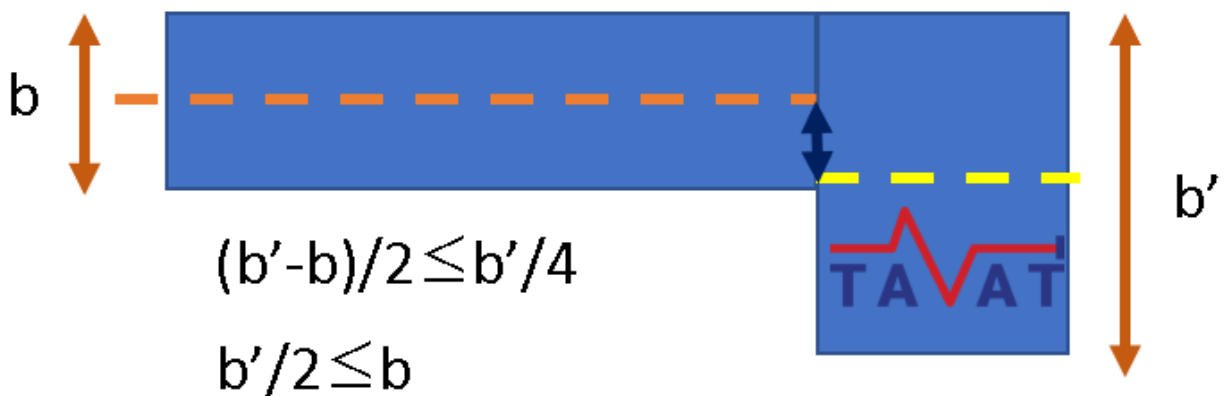
عرض عضو تکیه‌گاهی

در ادامه، آیین‌نامه در بند ۹-۲۰-۵-۲-۱-۱ تعیین کرده است که عرض عضو تکیه‌گاهی در صفحه عمود بر محور طولی تیر، نباید از سه‌چهارم ارتفاع تیر در وجه فشاری و یا چهارم ارتفاع در وجه کششی کمتر باشد. این الزام باعث انتقال یکنواخت تنش بین تیر و ستون می‌شود.

۹-۲۰-۵-۲-۱-۲ برون محوری هر تیر نسبت به ستونی که با آن قاب تشکیل می‌دهد، یعنی فاصله‌ی محورهای هندسی دو عضو از یک دیگر، نباید بیش‌تر از یک چهارم عرض مقطع ستون باشد.

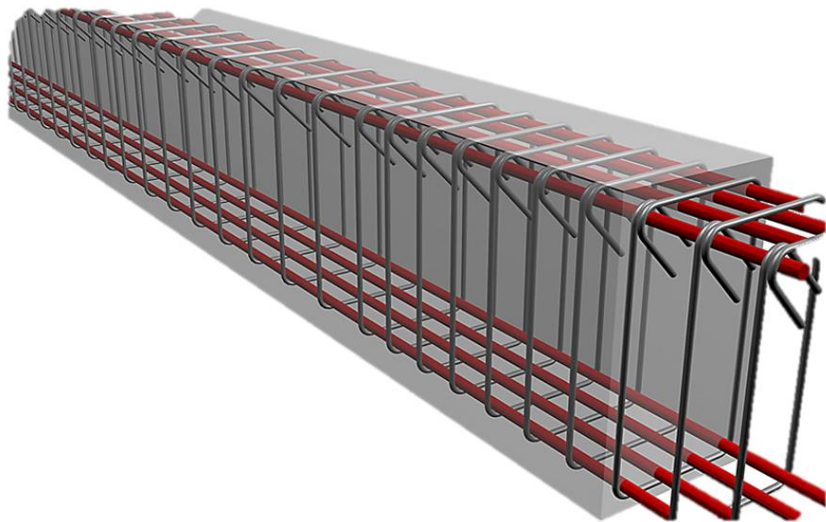
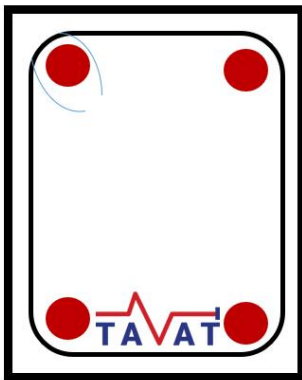
بند 1-2-1-2-5-20-9 به موضوع هم‌محوری تیر و ستون در قاب‌های بتن‌آرمه با شکل‌پذیری متوسط اشاره دارد. طبق این بند، محور تیر نباید نسبت به محور ستون بیش از یک‌چهارم عرض ستون فاصله داشته باشد. به عبارت ساده‌تر، تیر باید تقریباً در امتداد محور ستون قرار گیرد تا انتقال نیروها به صورت مستقیم و یکنواخت انجام شود. اگر این فاصله زیاد باشد، نیروهای خمشی و برشی در محل اتصال تیر و ستون به شکل نامناسبی توزیع شده و باعث ایجاد پیچش در تیر یا تمرکز تنش در ناحیه اتصال می‌شود.

این محدودیت در واقع برای حفظ یکپارچگی قاب، جلوگیری از رفتار پیچشی ناخواسته و اطمینان از انتقال صحیح نیروها بین تیر و ستون وضع شده است.



۲. آرماتورهای طولی تیرها (بند ۹-۲۰-۵-۲-۲)

۹-۲۰-۵-۲-۲ در هر یک از دو وجه فوقانی و تحتانی تیرها باید حداقل از دو آرماتور سراسری استفاده شود. سطح مقطع آرماتورهای سراسری وجه تحتانی نباید در هیچ مقطع، از یک چهارم بیش‌ترین مقدار سطح مقطع آرماتورهای تحتانی در طول دهانه‌ی تیر کم‌تر باشد. این آرماتورها باید با فرض تامین تنش تسلیم کششی در بر تکیه گاه مهار شوند.



الف) حداقل آرماتورهای کششی و فشاری

بر اساس بند 9-20-5-2-2-1، در هر وجه فوقانی و تحتانی تیر باید حداقل دو میلگرد سراسری قرار گیرد. وجود این میلگردها پیوستگی بین مقاطع مختلف تیر را تضمین کرده و مانع از گسیختگی ترد در ناحیه‌ی تکیه‌گاه می‌شود.

ب) پیوستگی آرماتورهای طولی

طبق آیین‌نامه، آرماتورهای کششی و فشاری باید به‌صورت پیوسته در طول تیر امتداد یابند و از یک‌چهارم ارتفاع مؤثر تیر کمتر نباشند. همچنین، میلگردهای بالایی باید تا روی تکیه‌گاه مهار شوند تا تنش‌های کششی ناشی از لنگر منفی را تحمل کنند.

ج) نسبت مقاومت خمشی مثبت و منفی

۹-۲۰-۵-۲-۲-۲ در هر طرف تیر در بر تکیه‌گاه، مقاومت خمشی مثبت نباید از یک سوم مقاومت خمشی منفی همان تکیه‌گاه کمتر باشد. همچنین، مقاومت خمشی مثبت یا منفی در هر مقطعی در طول تیر، نباید از یک پنجم حداکثر مقاومت خمشی تیر در مقطع بر تکیه‌گاه در دو انتهای تیر کمتر باشد.

در بند 9-20-5-2-2-2 تصریح شده است که در هر طرف تیر در بر تکیه‌گاه، مقاومت خمشی مثبت نباید از یک سوم مقاومت خمشی منفی همان تکیه‌گاه کمتر باشد.

این بند با هدف تأمین تعادل خمشی در نواحی بحرانی تدوین شده است تا هنگام زلزله، تیرها توانایی تحمل تغییر علامت لنگر را داشته باشند.

به بیان ساده، تیر باید در هر دو جهت چرخش (بالا و پایین) مقاومت قابل قبولی داشته باشد.

همچنین، در طول تیر، مقاومت خمشی نباید از یک پنجم مقاومت خمشی تیر در مقطع تکیه‌گاه کمتر باشد. این الزام از تمرکز بیش از حد تنش در ناحیه اتصال تیر و ستون جلوگیری می‌کند.

۳. آرماتورهای عرضی (خاموت‌ها) (بند ۹-۲۰-۵-۲-۳)

الف) نواحی بحرانی تیر

۹-۲۰-۵-۲-۳-۱ در تیرها در طول ناحیه‌های بحرانی در دو انتهای تیر که معادل دو برابر ارتفاع مقطع می‌باشد، باید دورگیر مطابق ضوابط بند ۹-۲۰-۵-۲-۳-۲ به کار برده شود؛ مگر آن که طراحی برای برش و یا پیچش، نیاز به آرماتور بیش‌تری را ایجاب کند.

بر اساس بند 9-20-5-2-3-1، در نواحی بحرانی دو انتهای تیر به طولی برابر با دو برابر ارتفاع مقطع، باید خاموت‌گذاری ویژه انجام شود.

هدف این خاموت‌ها، مقاومت در برابر برش و کنترل پیچش ناشی از زلزله است.

ب) مشخصات دورگیرها و فواصل آن‌ها

۹-۲۰-۵-۲-۳-۲ دورگیرها و فواصل آن‌ها از یک دیگر باید دارای شرایط زیر باشند:

الف - قطر دورگیرها کمتر از ۸ میلی متر نباشد.

ب - فاصله‌ی دورگیرها از یک دیگر بیش‌تر از یک چهارم ارتفاع مؤثر مقطع، ۸ برابر قطر کوچک‌ترین آرماتور طولی، ۲۴ برابر قطر دورگیر و ۳۰۰ میلی متر اختیار نشود.

پ - فاصله‌ی اولین دورگیر از بر تکیه‌گاه بیش‌تر از ۵۰ میلی متر نباشد.

مطابق بند 9-20-5-2-3-2، خاموت‌ها و دورگیرها باید شرایط زیر را داشته باشند:

- قطر خاموت‌ها نباید کمتر از ۸ میلی‌متر باشد.
- حداکثر فاصله بین خاموت‌ها نباید از مقادیر زیر تجاوز کند:

۱. یک‌چهارم ارتفاع مؤثر تیر

۲. ۸ برابر قطر میلگرد طولی کوچک‌تر

۳. ۲۴ برابر قطر دورگیر

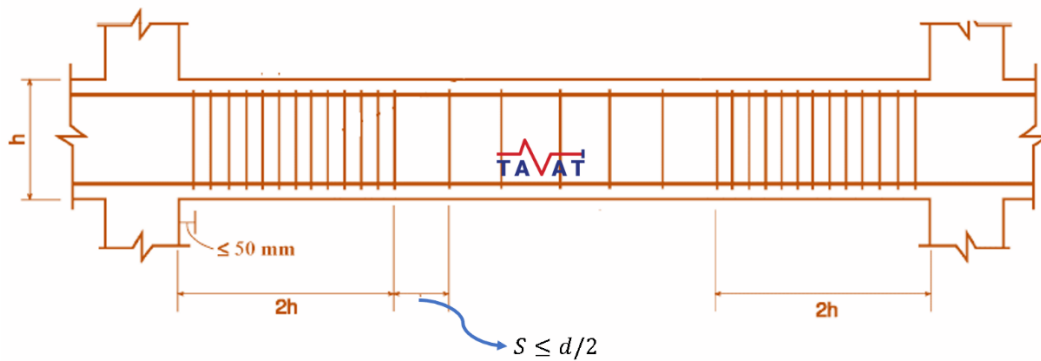
۴. ۳۰۰ میلی‌متر

همچنین، اولین خاموت از بر تکیه‌گاه باید حداکثر ۵۰ میلی‌متر فاصله داشته باشد تا ناحیه بحرانی به‌درستی محصور شود.

پ) خاموت‌ها در طول تیر

۹-۲۰-۵-۲-۳-۳ در سرتاسر طول تیرها، فاصله‌ی آرماتورهای عرضی از یک دیگر نباید بیش‌تر از نصف ارتفاع مؤثر مقطع اختیار شود.

در قسمت میانی تیر، فاصله خاموت‌ها می‌تواند افزایش یابد ولی نباید از نصف ارتفاع مؤثر تیر بیشتر شود (بند ۹-۲۰-۵-۳-۳).



به این ترتیب، توزیع خاموت‌ها در طول تیر به گونه‌ای تنظیم می‌شود که نواحی بحرانی متراکم‌تر و نواحی میانی با فواصل بیشتر باشند.

۴. تیرهای دارای نیروی محوری (بند ۹-۲۰-۵-۲-۴)

۹-۲۰-۵-۳-۴ در تیرهایی که نیروی محوری فشاری ضریب‌دار در آن‌ها از $0.10A_g f'_c$ بیش‌تر است، مقدار آرماتورهای عرضی مورد نیاز که بر اساس ضوابط بند ۹-۲۰-۵-۳-۳ محاسبه می‌گردد باید ضوابط بند ۹-۲۱-۶-۲، و در صورت استفاده از دورپیچ ضوابط بند ۹-۲۱-۶-۳ را نیز رعایت نماید.

در برخی تیرها، علاوه بر لنگر خمشی، نیروی محوری نیز وجود دارد. مثلاً تیرهایی که در محل اعمال بارهای خاک به سازه قرار می‌گیرند در معرض بارهای افقی ناشی از بار خاک می‌باشند که می‌تواند مقادیر زیادی از نیروی محوری را به تیرها اعمال نماید. بند ۹-۲۰-۵-۲-۴ بیان می‌کند که اگر نیروی محوری فشاری ضریب‌دار از $0.10A_g f'_c$ بیش‌تر باشد، میزان خاموت‌های عرضی باید بر اساس الزامات بند ۹-۲۱-۶-۳ محاسبه شود. به عبارت دیگر، تیرهایی که تحت فشار قابل توجهی قرار دارند، باید همانند ستون‌ها دارای محصورسازی بیش‌تری باشند تا از کمانش موضعی میلگردهای طولی جلوگیری شود.

۵. جمع‌بندی و نکات اجرایی

در جمع‌بندی الزامات بالا، می‌توان نکات زیر را برای طراحی و اجرای تیرهای با شکل‌پذیری متوسط یادآور شد:

۱. تناسب ابعاد هندسی تیر نقش مهمی در رفتار آن دارد. تیرهای خیلی باریک یا خیلی عمیق، علاوه بر ضعف اجرایی، شکل‌پذیری کمی خواهند داشت.
۲. وجود آرماتورهای سراسری بالا و پایین تیر ضروری است تا تغییر علامت لنگر در اثر زلزله به شکست موضعی منجر نشود.
۳. نسبت مقاومت خمشی مثبت و منفی باید رعایت شود تا تیر در هر دو جهت بارگذاری مقاومت کافی داشته باشد.
۴. خاموت‌گذاری ویژه در نواحی بحرانی تیر از شکست برشی ترد جلوگیری می‌کند.
۵. فاصله اولین خاموت از تکیه‌گاه باید بسیار کم (حداکثر ۵ سانتی‌متر) باشد.
۶. در تیرهای دارای نیروی محوری زیاد، باید از ضوابط محصورسازی مشابه ستون‌ها تبعیت کرد.
۷. از نظر اجرایی، توصیه می‌شود خاموت‌ها در انتهای تیر با قلاب ۱۳۵ درجه بسته شوند تا در برابر بازشدگی ناشی از زلزله مقاوم باشند.



نتیجه‌گیری

بندهای آیین‌نامه‌ای مربوط به تیرها در قاب‌های با شکل‌پذیری متوسط (۹-۲۰-۵-۲) مجموعه‌ای از الزامات هندسی و آرماتورگذاری هستند که با هدف افزایش شکل‌پذیری، کنترل رفتار غیرخطی و جلوگیری از شکست ترد تدوین شده‌اند.

رعایت دقیق این بندها نه تنها موجب ایمنی و عملکرد مناسب سازه در برابر زلزله می‌شود، بلکه کیفیت اجرای عضو را نیز تضمین می‌کند.

بنابراین، مهندسان طراح و ناظران باید این ضوابط را به صورت گام‌به‌گام در طراحی، کنترل نقشه و اجرای تیرهای بتن‌آرمه در قاب‌های متوسط لحاظ نمایند.

لازم به ذکر است در فول پک طراحی سازه با جزییات بسیار زیاد این ضوابط را در طراحی سازه بررسی کرده ایم. برای اطلاعات از فول پک طراحی سازه به صفحه فول پک طراحی سازه مراجعه نمایید.

