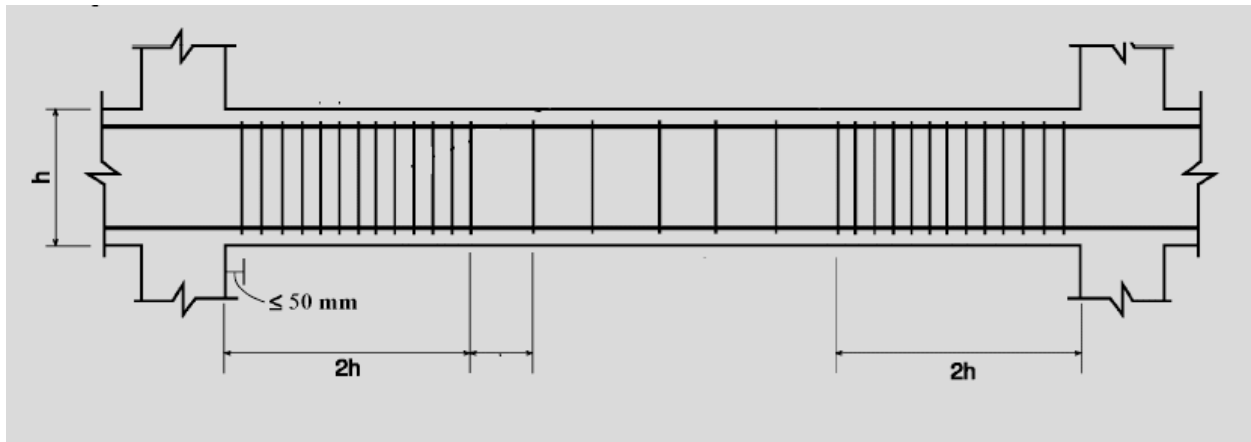


ناحیه بحرانی در تیرهای بتن مسلح و اهمیت آرماتورگذاری ویژه

رفتار تیرهای بتن مسلح در شرایط بهره‌برداری و به‌ویژه در زمان وقوع زلزله، به طور قابل توجهی تحت تأثیر جزئیات آرماتورگذاری در نواحی خاصی از عضو قرار دارد که به آن‌ها ناحیه بحرانی (Critical Region) یا ناحیه تشکیل مفصل پلاستیک گفته می‌شود. این ناحیه معمولاً در نزدیکی تکیه‌گاه‌ها یا محل تغییر علامت لنگر خمشی قرار دارد و جایی است که بیشترین احتمال بروز تغییرشکل‌های غیرخطی و تمرکز ترک‌ها وجود دارد.

به همین دلیل، آیین‌نامه‌های معتبر دنیا نظیر ACI 318، Eurocode 2 و همچنین مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، برای این نواحی جزئیات ویژه‌ای در نظر گرفته‌اند که هدف اصلی آن‌ها افزایش شکل‌پذیری، کنترل ترک‌ها و جلوگیری از شکست ترد است.



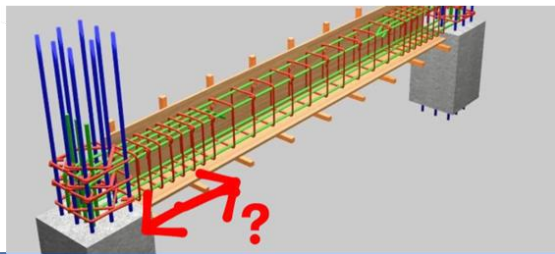
تعریف ناحیه بحرانی

ناحیه بحرانی در تیرهای بتن مسلح بخشی از عضو است که در اثر بارگذاری‌های شدید، به‌خصوص بارهای جانبی زلزله، امکان تشکیل مفصل پلاستیک در آن زیاد است. این مفصل پلاستیک در واقع منطقه‌ای است که دوران‌های بزرگ پلاستیک اتفاق می‌افتد و سهم بزرگی در اتلاف انرژی و رفتار شکل‌پذیر سازه دارد.

به طور معمول، ناحیه بحرانی در تیرها شامل طولی برابر با دو برابر عمق مؤثر تیر ($2h$) در مجاورت ستون یا تکیه‌گاه در نظر گرفته می‌شود. در ستون‌ها نیز این ناحیه در بالا و پایین عضو و به طولی معادل بزرگ‌تر از عمق مقطع یا یک‌ششم ارتفاع آزاد ستون و 450 میلی متر تعریف می‌شود.

۹-۲۰-۵-۲-۳ آرماتورهای عرضی

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.



در شکل پذیری متوسط معیار $2h$ برای ناحیه بحرانی تیرها در نظر گرفته شده است.

در شکل پذیری ویژه ضوابط مطابق بند زیر است.

۱-۳-۲-۶-۲۰-۹ در تیرها در طول قسمت‌های بحرانی که در زیر مشخص شده‌اند، آرماتور عرضی باید از نوع دورگیر بوده و شرایط بند ۹-۲۰-۶-۲-۳-۲ را تامین نمایند:

الف- در طولی معادل دو برابر ارتفاع مقطع از هر تکیه‌گاه به سمت وسط دهانه؛

ب- در طولی معادل دو برابر ارتفاع مقطع در دو سمت مقطعی که در آن امکان تشکیل مفصل پلاستیک در اثر تغییر مکان جانبی غیرالاستیک وجود داشته باشد.

دلایل اهمیت ناحیه بحرانی و لزوم آرماتورگذاری ویژه

۱. تمرکز تنش‌ها و ترک‌ها

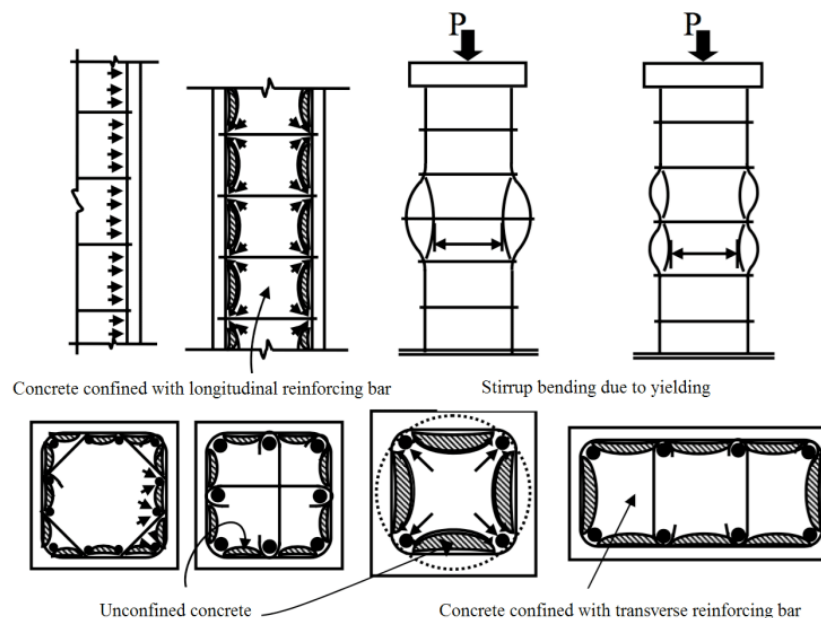
در ناحیه بحرانی، به دلیل مقادیر زیاد لنگر خمشی و برش، تنش‌ها در بتن و فولاد به حداکثر مقدار خود نزدیک می‌شوند. این امر منجر به ایجاد ترک‌های گسترده می‌شود که در صورت نبود آرماتور کافی، به سرعت گسترش یافته و موجب شکست ناگهانی می‌شوند.

۲. تضمین شکل‌پذیری و رفتار لرزه‌ای مناسب

در طراحی لرزه‌ای، یکی از اهداف اصلی این است که سازه قبل از فروپاشی نهایی، توانایی تغییرشکل‌های بزرگ غیرخطی داشته باشد. این ویژگی که به آن شکل‌پذیری (Ductility) می‌گویند، نقش مهمی در جذب و اتلاف انرژی زلزله دارد. اگر ناحیه بحرانی به درستی آرماتورگذاری نشود، عضو رفتاری ترد از خود نشان داده و عملکرد لرزه‌ای کل سازه به خطر می‌افتد.

۳. جلوگیری از کمانش میلگردهای طولی

در شرایط بارگذاری شدید، میلگردهای طولی در مجاورت ناحیه بحرانی در معرض کمانش موضعی قرار دارند. حضور خاموت‌ها یا دورگیرهای نزدیک به هم، این میلگردها را مهار کرده و مانع از کمانش زودهنگام آن‌ها می‌شود.

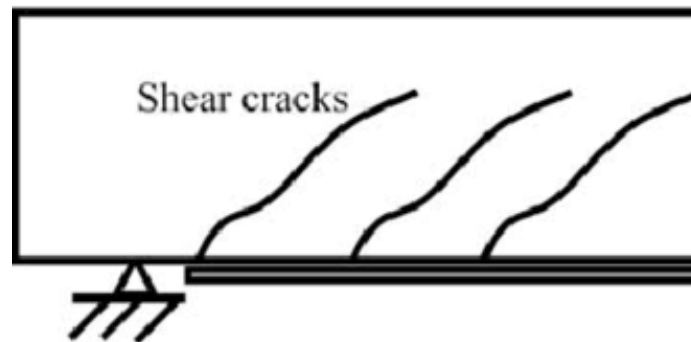


۴. بهبود محصورشدگی بتن هسته

کاهش فاصله خاموت‌ها موجب افزایش محصورشدگی بتن هسته می‌شود. بتن محصور شده می‌تواند کرنش‌های بزرگ‌تری را تحمل کند و در نتیجه ظرفیت دوران پلاستیک تیر افزایش می‌یابد. این موضوع یکی از کلیدی‌ترین عوامل در افزایش شکل‌پذیری عضو است.

۵. کنترل شکست برشی

در بسیاری از تیرها، به‌ویژه در نزدیکی تکیه‌گاه‌ها، ترکیب لنگر و برش زیاد باعث ایجاد ترک‌های قطری می‌شود. اگر خاموت‌ها به اندازه کافی نزدیک نباشند، این ترک‌ها می‌توانند به شکست برشی منجر شوند. شکست برشی معمولاً ناگهانی و ترد است، در حالی که شکست خمشی قابل پیش‌بینی‌تر و شکل‌پذیرتر است. به همین دلیل، آیین‌نامه‌ها در نواحی بحرانی حداقل فاصله خاموت را محدود کرده‌اند.



اثر فاصله خاموت‌ها (دورگیرها) بر شکل‌پذیری

• خاموت‌های با فاصله زیاد

- بتن هسته محصور نمی‌شود.
- ترک‌های قطری و خمشی سریعاً گسترش می‌یابند.
- میلگردهای طولی مستعد کمانش می‌شوند.

○ شکست ترد و ناگهانی رخ می‌دهد.

○ در نتیجه، شکل‌پذیری به شدت کاهش می‌یابد.

• خاموت‌های با فاصله کم

○ بتن هسته به خوبی محصور می‌شود.

○ ترک‌ها ریزتر و متعددتر هستند و کنترل بهتری روی گسترش آن‌ها وجود دارد.

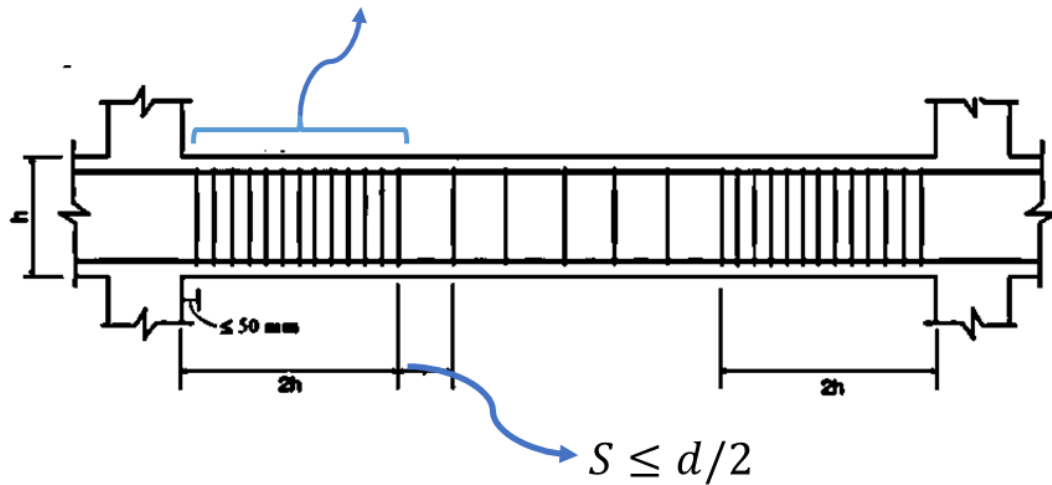
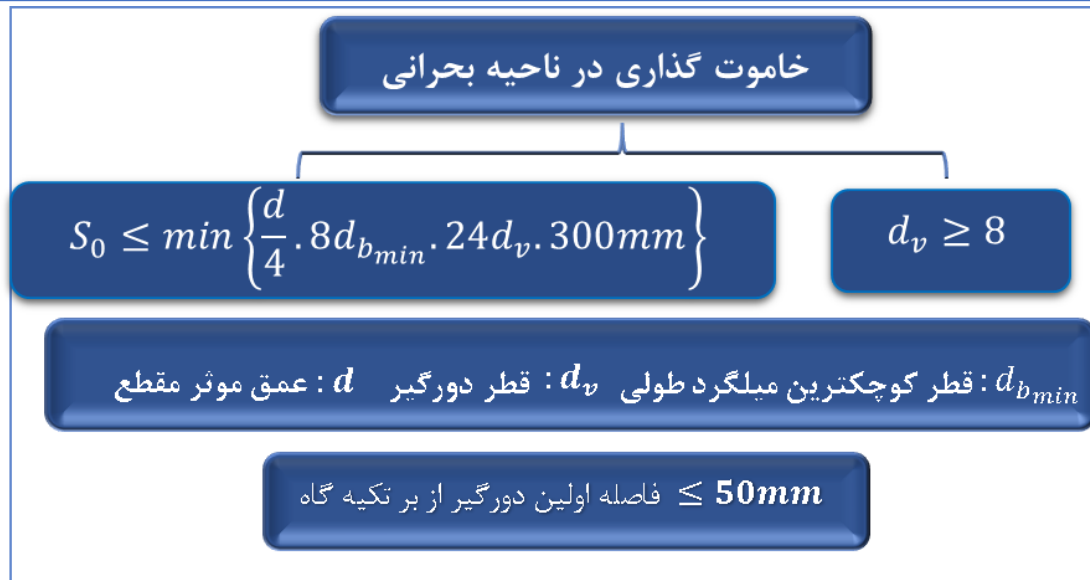
○ میلگردهای طولی مهار شده و توانایی تحمل کرنش‌های بیشتری پیدا می‌کنند.

○ ظرفیت دوران پلاستیک افزایش می‌یابد.

○ در نتیجه، شکل‌پذیری به‌طور محسوسی افزایش می‌یابد.

به همین دلیل است که در ناحیه بحرانی، آیین‌نامه‌ها حداکثر فاصله مجاز خاموت را به مقدار کمی محدود کرده‌اند. برای مثال، در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، حداکثر فاصله خاموت‌ها در ناحیه بحرانی تیرها برابر با کمترین یک چهارم عمق موثر مقطع تیر، ۸ برابر قطر میلگرد طولی، ۲۴ برابر قطر خاموت و یا ۳۰۰ میلی‌متر تعیین شده است.





مستندات آیین‌نامه‌ای

- **مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران (ویرایش ۱۳۹۹)** در بندهای مربوط به جزئیات آرماتورگذاری ویژه، تأکید می‌شود که در نواحی بحرانی تیرها و ستون‌ها فاصله خاموت‌ها باید کاهش یابد تا محصورشدگی بتن و مهار میلگردهای طولی تضمین شود.

ACI 318-19

- در بخش مربوط به طراحی لرزه‌ای (Chapter 18)، ناحیه بحرانی تیرها مشخص شده و حداقل الزامات خاموت‌گذاری ویژه در آن ذکر شده است.

• Eurocode

در فصل مربوط به طراحی لرزه‌ای، طول ناحیه بحرانی و جزئیات مربوط به آرماتورگذاری ویژه تعریف شده است.

نتایج تحقیقات و مقالات

مطالعات آزمایشگاهی متعدد نشان داده‌اند که تیرهای بتن مسلح با جزئیات ویژه در ناحیه بحرانی، نه تنها مقاومت نهایی بیشتری دارند، بلکه ظرفیت دوران پلاستیک و اتلاف انرژی آن‌ها در بارگذاری چرخه‌ای به مراتب بیشتر است. در واقع، تفاوت اصلی بین یک عضو مقاوم ولی شکننده و یک عضو شکل‌پذیر و ایمن، در جزئیات آرماتورگذاری ناحیه بحرانی نهفته است.

نتیجه‌گیری

ناحیه بحرانی در تیرهای بتن مسلح، قلب شکل‌پذیری سازه محسوب می‌شود. این ناحیه محل تشکیل مفاصل پلاستیک و تحمل دوران‌های بزرگ است. اگر جزئیات آرماتورگذاری ویژه در این بخش رعایت نشود، خطر شکست ترد و ناگهانی وجود دارد که می‌تواند کل سیستم سازه‌ای را در برابر زلزله آسیب‌پذیر کند.

مهم‌ترین ابزار برای افزایش شکل‌پذیری در این ناحیه، کاهش فاصله خاموت‌ها (دورگیرها) است که منجر به محصورشدگی بهتر بتن، کنترل ترک‌ها، جلوگیری از کمانش میلگردهای طولی و افزایش ظرفیت دوران پلاستیک تیر می‌شود. به همین دلیل، تمامی آیین‌نامه‌های معتبر جهان الزام کرده‌اند که در نواحی بحرانی، فاصله خاموت‌ها به مقادیر بسیار کوچک محدود شود.

