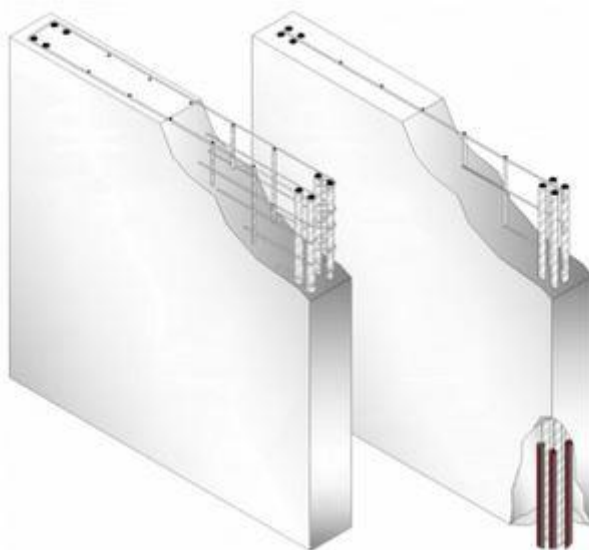


دیوارهای برشی بتنی

دیوارهای برشی بتن مسلح (RC) به مدت طولانی به‌عنوان سیستم‌های سازه‌ای مناسب که مقاومت جانبی و کنترل جابجایی جانبی را در ساختمان‌های RC در اختیار می‌گذارند، شناخته شده‌اند. باین حال دیوارهای برشی قدیمی‌تر عموماً برای عکس‌العمل‌های ترکیبی بارهای ثقلی و بارگذاری باد بدون هیچ ملاحظه‌ی بارگذاری لرزه‌ای ویژه‌ای طراحی شدند. تدابیر لرزه‌ای در سال‌های ۱۹۷۰ تنها شامل تعاریف بود و از آن زمان برای تضمین داشتن ظرفیت و شکل‌پذیری کافی در برابر بارهای لرزه‌ای تکامل یافته‌اند. در این مقاله، تکامل آیین‌نامه‌های طراحی برای انجام طراحی و جزییات دیوارهای برشی بتنی بررسی خواهد شد.



دیوارهای برشی بتنی: توسعه‌ی آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌ها

*ACI-۳۱۸-۲۰۱۱-۱۹۶۳

روش طراحی برای دیوارهای برشی بتنی در آیین‌نامه‌ی ACI ۱۹۶۳ (ACI ۳۱۸، ۱۹۶۳) بر اساس طراحی تنش بهره‌برداری است؛ باین حال یک روش طراحی مقاومت نهایی نیز معرفی شد. فصل ۲۲ این آیین‌نامه ضخامت حداقل ۶ اینچ (۱۵۰ mm) را برای دیوارهای تا دوطبقه ارتفاع لازم می‌داند. این حداقل ضخامت به‌اندازه‌ی ۱ اینچ (۲۵ mm) به ازای هر ۲۵ فوت (۷٫۶ m) زیر دو طبقه‌ی فوقانی افزایش داده می‌شود. این آیین‌نامه سطح مقطع آرماتور افقی و قائم به ترتیب بیشتر از ۰٫۰۰۲۵ و ۰٫۰۰۱۵ برابر سطح مقطع دیوار مسلح را لازم می‌داند. برای دیوارهای بیشتر از ۱۰ اینچ ضخامت، باید آرماتور گذاری برای هر جهت که در دولایه‌ی موازی با سطوح دیوار قرار داده شده‌اند، وجود داشته باشد. حداقل اندازه‌ی میلگرد به مقدار میلگرد شماره‌ی ۳ (قطر ۹٫۵ میلی‌متر) که در فاصله‌ای کمتر از ۱۸ اینچ (۴۵۰ mm) مرکز به مرکز توزیع شده، محدود می‌شود. اطراف بازشوها و در مرزهای دیوار، نباید کمتر از دو آرماتور شماره‌ی ۵ (۱۶ mm) وجود داشته باشد. حداقل طول وصله‌ی پوششی که برای آرماتور درجه‌ی ۵۰ و ۶۰ نیاز است به ترتیب نباید کمتر از ۳۰ و ۳۶ برابر قطر آرماتور باشد.

آیین‌نامه‌ی ACI ۱۹۷۱ (ACI ۳۱۸، ۱۹۷۱) به‌صورت کلی نیازهای طراحی و جزئیات برای نسبت آرماتور گذاری و اندازه‌های میلگرد مشابه با آیین‌نامه‌ی ۱۹۶۳ دنبال می‌کند، به‌جز اینکه در پیوست A - «تدابیر لرزه‌ای ویژه برای طراحی لرزه‌ای»، سطوح حداقل آرماتور توزیع شده‌ی افقی و قائم باید حداقل ۰،۰۰۲۵ برابر مساحت مقطع ناخالص دیوار باشند. برای دیوارهای برشی با شرایط $P_e/P_b < ۰.۴$ ، بارمحوری طراحی و P_b ظرفیت بارمحوری در شرایط بالانس)، آرماتور قائم اضافی در نزدیکی المان‌های مرزی مورد نیاز است. مقدار حداقل این آرماتور گذاری متمرکز برابر $d/f_y \cdot b_w \cdot ۲۰۰$ است که d فاصله دورترین تار فشاری تا مرکز آرماتور گذاری متمرکز و b_w ضخامت دیوار است. برای دیوارهایی با سطوح بارگذاری محوری بالاتر، مقدار آرماتور گذاری متمرکز باید طوری انتخاب شود که دیوار بتواند در برابر عکس‌العمل‌های ترکیبی ثقلی و لنگر واژگونی مقاومت کند. فولاد تقویتی در المان‌های مرزی باید با آرماتور گذاری عرضی در سرتاسر ارتفاع کامل المان محصور شوند. مقدار حداقل موردنیاز آرماتور گذاری عرضی در المان‌های مرزی برابر $l_h \cdot \rho_s \cdot S_h / ۲$ است که $l_h \cdot \rho_s = ۰.۴۵ \left(\frac{A_g}{A_c} - ۱ \right) \cdot \frac{f'_c}{f_y}$ طول بدون تکیه‌گاه حلقه‌ها و S_h فاصله‌ی بین حلقه‌ها می‌باشد. حداقل طول وصله‌ی پوششی برای تمامی آرماتورهای عمودی برابر ۳۰ برابر قطر میلگرد است.

آیین‌نامه‌ی ACI ۱۹۷۷ (ACI ۳۱۸، ۱۹۷۷) نیازهای طراحی و جزئیاتی مشابه با آیین‌نامه‌ی ۱۹۷۱ داشت به‌جز اینکه آیین‌نامه‌ی ۱۹۷۷ حداقل طول‌های وصله‌ی پوششی معرفی کرد که برای رده‌های مختلف وصله‌ها اصلاح شده است.

آیین‌نامه‌ی ACI ۱۹۸۳ (ACI ۳۱۸، ۱۹۸۳) مساحت حداقل ۰،۰۰۲۵ برابر سطح مقطع ناخالص را برای آرماتوربندی طولی و عرضی نیاز دارد. این آرماتوربندی نباید فاصله‌ای بیشتر از ۱۸ اینچ (۴۵۰mm) داشته باشد. نسبت‌هایی از دیوارهای برشی که دورترین تار تحت تنش‌های بزرگ‌تر از $۰.۲f'_c$ قرار می‌گیرد، باید المان‌های مرزی داشته باشد. المان‌های مرزی باید طوری تقسیم‌بندی شده باشد که تمامی بارهای ثقلی دارای ضریب دیوار را به همراه ممان‌های واژگونی ناشی از بارگذاری زلزله تحمل کند. المان‌های مرزی باید با آرماتور گذاری عرضی که بیشتر از کمترین موارد زیر باشند، محصور شوند: یک‌چهارم کمترین ابعاد عضو و ۴ اینچ (۱۰۰mm). مقدار حداقل آرماتور گذاری عرضی عبارت است از:

$$A_{sh} = \min \left\{ \begin{array}{l} ۰.۳ \left(sh_c \frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - ۱ \right) \\ ۰.۱۲ sh_c \frac{f'_c}{f_y} \end{array} \right.$$

که در آن h_c فاصله‌ی مرکز به مرکز صفحه‌ی افقی تنگ‌های محصورکننده و S فاصله‌ی قائم تنگ‌ها می‌باشد. طول گسترش حداقل برای میلگردهای مستقیم که مورد نیاز آیین‌نامه‌ی ۱۹۸۳ می‌باشد برابر با $۲.۵f_y d_b / ۶۵ \sqrt{f'_c}$ بود که باید برای به دست آوردن طول هم‌پوشانی وصله بر اساس رده‌ی وصله‌ی پوششی اصلاح شود.

نیازهای آیین‌نامه‌ی ACI ۱۹۸۹ (ACI-۳۱۸، ۱۹۸۹) برای طول‌های مهاری و طول‌های وصله‌ی پوششی حداقل به‌طور قابل توجهی با اصلاح طول‌های موردنیاز برای اثر پوشش، فاصله‌ی میلگرد، قطر میلگرد و حضور پوشش اپوکسی تغییر کردند. آیین‌نامه‌ی ACI ۱۹۸۹ دو رده‌ی مختلف از وصله‌های پوششی تجویز کرد: رده‌ی A که تنها ۵۰٪ یا کمتر از آرماتورها وصله شده‌اند؛ و رده‌ی B که بیش از ۵۰٪ آرماتور گذاری وصله‌ی پوششی شد. برای وصله‌های رده‌ی A طول وصله‌ی پوششی به‌عنوان طول مهاری در نظر

گرفته می‌شود و برای وصله‌های رده‌ی B طول وصله‌ی پوششی به‌عنوان ۱,۳ برابر طول مهارى در نظر گرفته می‌شود. باین‌حال، تدابیر لرزه‌ای، مشابه با نسخه‌ی قبلی آیین‌نامه باقی ماند.

نیازهای تعیین حداقل طول گسترش در آیین‌نامه‌ی ACI ۱۹۹۵ (ACI-۳۱۸, ۱۹۹۵) برابر بود با:

$$l_d = \frac{3}{40} \frac{f_{y,e}}{\sqrt{f'_c}} \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{\frac{c_b + k_v}{d_b}} d_b$$

که در آن ضرایب اصلاح α ، β ، γ و λ به ترتیب اثر موقعیت میلگرد، پوشش میلگرد، اندازه‌ی میلگرد و دانسیته‌ی بتن (λ) برای بتن سبک بیشتر از ۱ در نظر گرفته می‌شود) می‌باشند. ضریب k_v اثر محصورشدگی و c_b فاصله‌ی حداکثر بین میلگردها می‌باشد. تدابیر لرزه‌ای برای دیوارهای برشی بسیار مشابه با نسخه‌ی قبلی بود.

باید توجه شود که آیین‌نامه‌ی ACI ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ (ACI-۳۱۸, ۲۰۰۸, ۲۰۱۱) طول‌های مهارى آرماتور طولی را که به‌اندازه‌ی ۱,۲۵ برابر تنش اسمی تسلیم توسعه می‌یابد، ملزم می‌کنند. آیین‌نامه‌ی ACI ۲۰۱۱ اساساً بیان مشابهی برای حداقل طول مهارى داشت اما به‌صورت زیر شکلش تغییر پیدا کرد:

$$l_d = \frac{3}{40} \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\frac{c_b + k_v}{d_b}} d_b$$

که λ دانسیته‌ی بتن می‌باشد (λ برای بتن سبک بیشتر از ۱ در نظر گرفته می‌شود).

*CSA و NBCC: ۱۹۶۵ تا حال حاضر

آیین‌نامه‌ی ملی ساختمان کانادا ۱۹۶۵ (NBCC, ۱۹۶۵)، بخش ۴,۵,۸ ضخامت حداقل ۶ اینچ (۱۵۰mm) را برای دیوارها لازم می‌داند. ضخامت مورد نیاز برای دیوارهای همکف و فونداسیون برابر ۸ اینچ (۲۰۰mm) بود. نسبت‌های حداقل آرماتور گذاری افقی و قائم دیوارها به ترتیب ۰,۰۰۲ و ۰,۰۰۱۲ بودند.

تدابیر ویژه برای طراحی لرزه‌ای در عبارت ۱۹ استاندارد CSA A ۲۳,۳ ۱۹۷۳ (CSA, ۱۹۷۳) معرفی شدند. نسبت‌های حداقل آرماتور گذاری افقی و قائم برای دیوارهای خمشی شکل‌پذیر به ترتیب به مقادیر ۰,۰۰۲۵ و ۰,۰۰۱۵ افزایش یافتند. حداکثر فاصله فولاد ۱۸ اینچ (۴۵۰mm) بود، اما در نیمه‌ی پایینی سازه به ۱۲ اینچ (۳۰۰mm) کاهش یافت.

آیین‌نامه‌ی CSA A ۲۳,۳ ضخامت حداقل ۶ اینچ (۱۵۰mm) را برای دیوارهای باربر لازم دانست. دیوارهای با ضخامت بیشتر از ۱۰ اینچ (۲۵۰mm) باید آرماتور گذاری داشته باشد که به‌طور یکنواخت در هر جهت توزیع شود طوری که در دولایه‌ی موازی با صفحه‌ی دیوار قرار داشته باشند.

لازم است دیوارهای خمشی شکل‌پذیر آرماتور گذاری قائم متمرکز نزدیک هریک از دو انتهای دیوار داشته باشند که برای عکس‌العمل‌های ترکیبی بار ثقلی و ممان واژگونی طراحی شده‌اند. در این محاسبه، ممان واژگونی نباید کمتر از ممان ترک‌خوردگی باشد. در هیچ حالتی آرماتور گذاری نباید کمتر از $0.002b_w d$ برای فولاد رده‌ی متوسط یا بالا یا کمتر از $0.0018b_w d$ برای فولاد رده‌ی ۶۰ (۴۱۴MPa) باشد. بیشتر از ۵۰٪ آرماتور گذاری متمرکز نباید در یک ناحیه‌ی یکسان دارای وصله باشند. طول‌های وصله‌ی پوششی باید ۱٫۷ برابر طول مهاری باشد.

آیین‌نامه‌ی CSA A23.3 تقریباً مشابه با آیین‌نامه‌ی ۱۹۷۳ بود به‌جز اینکه در آن از واحدهای متریک استفاده شده است.

آیین‌نامه‌ی CSA A23.3 (CSA A23.3, ۱۹۸۴) طراحی ظرفیت را در عبارت ۲۱ تدابیر ویژه برای طراحی لرزه‌ای معرفی کرد. مودهای گسیختگی ترد همچون گسیختگی برشی با طراحی مقاومت برشی دیوارها به گونه‌ای که مفصل پلاستیک بتواند در پایه‌ی دیوار گسترش یابد، جلوگیری شدند. طول ناحیه‌ی فشاری خمشی در دیوارهای بتنی بدون آرماتور گذاری محصورشدگی برای اطمینان از پاسخ شکل‌پذیر، محدود شد. المان‌های مرزی دیوارها برای تأمین محصورشدگی و جلوگیری از کمانش میلگرد با محدود کردن فاصله‌ی حلقه‌های بسته‌ی اطراف میلگردهای تقویتی عمودی متمرکز، اجرا شدند.

با استفاده از روشی بر پایه‌ی عملکرد، CSA A23.3 (CSA A23.3, ۲۰۰۴) نیاز به تخمین جابجایی جانبی کلی دیوار تحت تاثیر نیروهای زلزله‌ی طراحی می‌باشد، پس از آن باید اطمینان حاصل کرد که طول ناحیه‌ی فشاری پای دیوار از یک طول حدی تجاوز نمی‌کند (Adebar و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین این تدابیر حداقل نسبت آرماتور گذاری 0.0025 را برای هر دو آرماتور طولی و عرضی یکنواخت توزیع شده پیشنهاد می‌کنند. فاصله‌ی این میلگردها به مقدار 300mm برای ناحیه‌ی مفصل پلاستیک و 450mm برای دیگر نواحی محدود می‌شود. آیین‌نامه ملزم می‌کند که آرماتور گذاری عرضی گسترش یافته و در ناحیه‌ی آرماتور گذاری متمرکز مهار شود تا $1.25f_y$ به دست آید. آرماتور گذاری قائم متمرکز، شامل حداقل چهار میلگرد باید حداقل در ۲ لایه در هریک از دو انتهای دیوار جایگذاری شوند. آرماتور گذاری متمرکز حداقل نباید کمتر از $0.0015b_w l_w$ برای نواحی دارای ظرفیت تشکیل مفصل پلاستیک و $0.001b_w l_w$ برای دیگر نواحی باشد. آرماتور گذاری قائم متمرکز باید توسط تنگ‌هایی که قطری حداقل برابر با ۳۰٪ قطر بزرگ‌ترین میلگرد دارند، محصورشده و به‌صورت حلقه اجرا شوند و فاصله نباید از کمترین مقدار ۶ قطر میلگرد طولی، ۲۴ قطر میلگرد تنگ، نصف کمترین بعد عضو یا فاصله‌ی تنگ مورد نیاز تقاضاهای شکل‌پذیری ویژه تجاوز کند. برای اطمینان از شکل‌پذیری، آیین‌نامه‌ی حال حاضر ملزم می‌کند که ظرفیت دورانی غیر الاستیک دیوار در ناحیه‌ی مفصل پلاستیک بیشتر از تقاضای دورانی غیر الاستیک باشد.