طراحی مولفه برش در دیوارهای برشی ویژه با استفاده از نرم افزار ETABS بر اساس ضوابط آیین‌نامه‌های ACI318-19 و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان

امیرحسین شجاع، دکترای مهندسی زلزله، عضو هیات مدیره مهندسان مشاور پارساز

پیشگفتار

ابهامات موجود نزد برخی طراحان سازه در خصوص طراحی دیوارهای برشی ویژه، من را بر آن داشت که یک مجموعه ویدیو در خصوص طراحی این دیوارها تهیه نمایم و اطلاعات و نظرات خود را در خصوص طراحی دیوارهای برشی به اشتراک بگذارم. با توجه به اینکه پی‌گیری ویدیوها زمان‌بر است، تصمیم گرفتم چکیده‌ای از مطالب ارائه شده در ویدیوها را در قالب متن تهیه نمایم. این متن بخش اول از مجموعه متن-های مربوط به طراحی دیوارهای برشی است. چنانچه در قسمتی از متن ابهام وجود داشته باشد، خوانندگان محترم می‌توانند به ویدیوهای موجود در کانال تلگرام رجوع نمایند. امید است مطالب تهیه شده مفید واقع شود و از صاحبنظران محترم خواهشمندم چنانچه در مطالب ارائه شده، اشتباه یا نقصانی مشاهده می‌نمایند، من را از طریق آدرس ارتباطی کانال تلگرام Amirhossein_Shodja@ مطلع نمایند. بدیهی است در خصوص نحوه اعمال ضوابط، لازم است از نظام مهندسی استان مربوطه استعلام شود.

۱- مقدمه

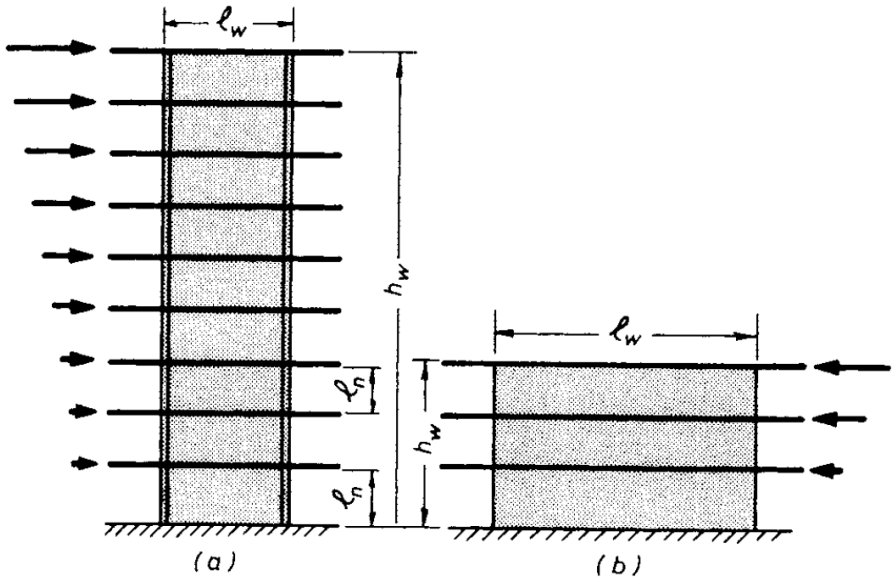
این مطلب به طراحی برشی دیوارهای برشی ویژه بر اساس ضوابط آیین‌نامه‌های ACI318-19 و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان اختصاص دارد. در این مطلب ابتدا مفاهیم حاکم بر طراحی مقاومتی دیوارها تشریح خواهد شد و سپس در خصوص نحوه اعمال ضوابط در نرم‌افزار ETABS و تفاوت‌های طراحی در ETABS با آیین‌نامه، توضیحاتی ارائه خواهد شد. در بخش پایانی بیان می‌شود که چگونه می‌توان خروجی‌های نرم افزار ETABS را بر ضوابط طراحی مبحث نهم مقررات ملی ساختمان منطبق نمود.

۲- مفاهیم طراحی برشی دیوارهای برشی ویژه

۲-۱- تعریف دیوار برشی لاغر و کوتاه

رفتار دیوارهای برشی منظم که فاقد بازشوی بزرگی هستند که بر رفتار آن‌ها تاثیر گذار باشد، به نسبت ارتفاع h_w به طول l_w دیوار (مطابق شکل ۱) بستگی دارد. چنانچه نسبت ارتفاع به طول دیوار بیش از ۲

باشد، دیوار لاغر (slender) نامیده می‌شود؛ اما اگر نسبت ارتفاع به طول دیوار کمتر از ۱/۵ باشد، دیوار کوتاه (squat) نامیده می‌شود. در محدوده نسبت ارتفاع به طول بین ۱/۵ تا ۲ رفتاری بین دیوار لاغر و دیوار کوتاه مورد انتظار است.



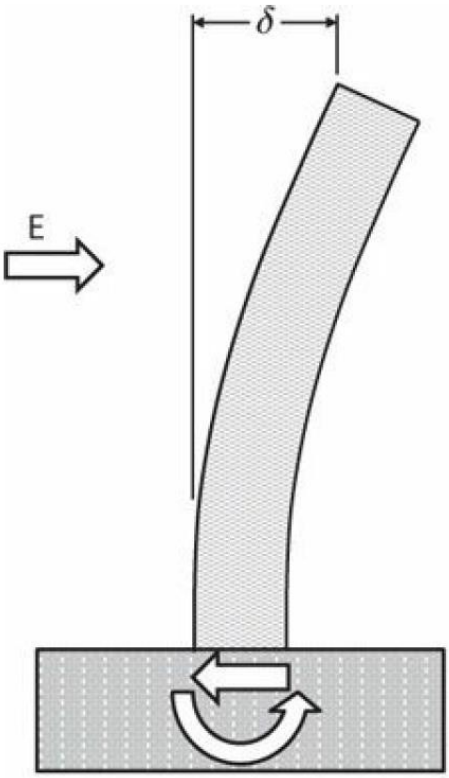
شکل ۱- نمایش ارتفاع h_w و طول l_w دیوار

۲-۲- مکانیزم‌های مورد پذیرش در دیوارهای برشی کوتاه

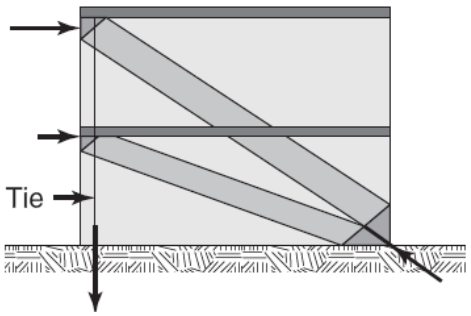
اگر نسبت ارتفاع به طول دیوار کمتر از ۱/۵ باشد ($\frac{h_w}{l_w} \leq 1.5$)، دیوار کوتاه (squat) نامیده می‌شود و هر چقدر این نسبت کمتر باشد، انتقال برش بیشتر از طریق تشکیل بست‌های (struts) فشاری و بندهای (ties) کششی انجام خواهد شد (شکل ۲). در دیوارهای کوتاه به علت مقاومت بالا، نیاز شکل پذیری پایین، نیروی محوری کم و احتمال اندک فروریزش محوری به علت تسلیم برشی، آیین‌نامه گسیختگی برشی را مورد قبول می‌داند. چهار نوع گسیختگی برشی در این دیوارها محتمل است که عبارتند از: ۱- مکانیزم گسیختگی کششی قطری ۲- مکانیزم گسیختگی تسلیم قائم ۳- مکانیزم گسیختگی فشاری قطری ۴- مکانیزم گسیختگی برشی لغزشی.

گسیختگی‌های انواع ۱ و ۲ از نوع تسلیم میلگرد، گسیختگی نوع ۳ از نوع خرد شدن بتن و گسیختگی نوع ۴ از نوع شکست در تحمل برش اصطکاکی است. توصیه اکید می‌شود از گسیختگی نوع ۴ با طراحی برش اصطکاکی پیش‌گیری شود. همچنین، هر چند در آیین‌نامه محدودیتی برای حداکثر آرماتورهای برشی در دیوارهای کوتاه وجود ندارد، اما توصیه می‌شود آرماتور افقی و قائم، بیش از مقدار مورد نیاز تعبیه نشود تا گسیختگی برشی از انواع ۱ و۲ که از نوع تسلیم میلگرد و شکل‌پذیرتر است به شکست نوع ۳ که از نوع خرد شدن بتن و ترد است، سوق پیدا نکند.

$\left(\frac{h_w}{l_w} \geq 2.0\right)$
دیوار لاغر



$\left(\frac{h_w}{l_w} \leq 1.5\right)$
دیوار کوتاه



شکل ۲- نمای دیوار لاغر و دیوار کوتاه

۲-۳- مکانیزم‌های مورد پذیرش در دیوارهای برشی لاغر

چنانچه نسبت ارتفاع به طول دیوار بیش از ۲ باشد ($\frac{h_w}{l_w} \geq 2.0$)، دیوار لاغر (slender) نامیده می‌شود و رفتار آن مشابه تیرهای طره خمشی است (شکل ۲). در دیوارهای لاغر گسیختگی برشی سبب خواهد شد، سازه قبل از رسیدن به تغییرشکل‌های پیش‌بینی شده در تحلیل و طراحی دچار افت مقاومت شود. لذا آیین‌نامه-های طراحی در این دیوارها گسیختگی برشی را مجاز نمی‌دانند. رفتار مورد پذیرش در این دیوارها رسیدن به مقاومت خمشی (یا تشکیل مفصل خمشی) در پای دیوار است. برای رسیدن به مقاومت خمشی در پای دیوار دو دسته تمهیدات باید در طراحی دیوارهای برشی لاغر در نظر گرفته شوند:

الف- تمهیدات مربوط به جلوگیری از وقوع مودهای شکست نامطلوب پیش از رسیدن به مقاومت خمشی محتمل مقطع، شامل: گسیختگی برشی، گسیختگی وصله‌ها، کمانش آرماتورهای قائم و خرد شدن بتن در ناحیه فشار خمشی (منظور از مورد اخیر جزییات آرماتورگذاری عرضی مناسب در ناحیه المان مرزی است. لازم به ذکر است که رسیدن به تسلیم خمشی شکل‌پذیر، از

طریق رفتار کنترل شونده با کشش در دیوار، الزامی نیست و همیشه قابل حصول نمی‌باشد. به عنوان مثال در طبقات پایین سازه‌های بلند در دیوارهای L شکل که بال آن‌ها در کشش باشد، رفتار کنترل شونده با فشار در مقطع دیوار گریز ناپذیر خواهد بود). در این مطلب فقط به مفاهیم و ضوابط جلوگیری از گسیختگی برشی دیوارهای لاغر پرداخته خواهد شد و سایر موارد در مطالب جداگانه‌ای بحث خواهد شد.

ب-تمهیدات مربوط به هدایت مفصل به مقطع پیش بینی شده در تحلیل و طراحی از طریق توزیع مناسب مقاومت خمشی در ارتفاع دیوار که به این موضوع در مطالب بعدی پرداخته خواهد شد. لازم به ذکر است که در سازه های خیلی بلند تشکیل یک مفصل دیگر در طبقات میانی گریزناپذیر است.

۲-۴- مکانیزم‌های مورد پذیرش در دیوارهای برشی در محدوده مابین دیوارهای برشی لاغر و کوتاه

در محدود بین دیوارهای لاغر و کوتاه ($1.5 < \frac{h_w}{l_w} < 2.0$) رفتاری بین رفتار دیوارهای لاغر و دیوارهای کوتاه مورد انتظار است. در این محدوده نیز گسیختگی برشی مورد پذیرش آیین نامه نمی‌باشد.

۳- جلوگیری از گسیختگی برشی در دیوارهای لاغر

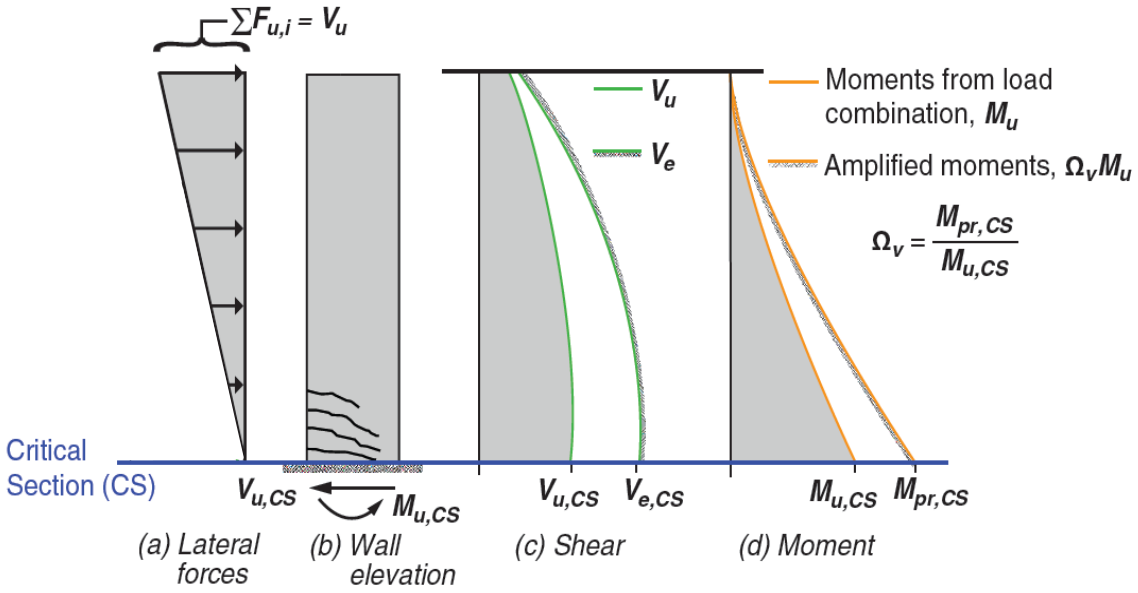
برای جلوگیری از گسیختگی برشی دیوارهای لاغر دو اثر را باید مورد توجه قرار داد. که در این بخش به این آثار پرداخته می‌شود.

الف- اثر اضافه مقاومت خمشی مقطع:

مقاومت خمشی محتمل عضو (M_{pr})، مقاومتی است که با فرض تنش کششی برابر با $1.25f_y$ در میلگردهای طولی و ضریب کاهش مقاومت $\emptyset$ برابر 1.0 محاسبه می‌شود. این مقاومت حداکثر مقاومتی است که انتظار می‌رود در مقطع عضو بسیج شود. در این بخش هدف این است که نیروهای طراحی برشی دیوار به طریقی محاسبه شوند که مقاومت برشی اسمی دیوار، از برش متناظر با توسعه مقاومت خمشی محتمل عضو بیشتر باشد.

فرض کنید به یک دیوار یک بار جانبی با الگوی ثابت و مقدار مشخص اعمال شود (شکل ۳). اگر سایر مودهای شکست رخ ندهند و در سایر مقاطع دیوار زودتر مفصل تشکیل نشود، شدت این بار را می‌توان تا حدی افزایش داد که مقاومت خمشی در پای دیوار به M_{pr} برسد. بنابراین اگر مقدار ممان خمشی در پای دیوار در ابتدا M_u باشد، باید شدت بار را به اندازه $\frac{M_{pr}}{M_u}$ افزایش داد تا ممان در پای دیوار به M_{pr} برسد. نسبت $\frac{M_{pr}}{M_u}$ ضریب اضافه مقاومت خمشی نامیده می‌شود و با علامت Ω_v نمایش داده می‌شود. با

هدف اینکه قبل از رسیدن به M_{pr} در پای دیوار، گسیختگی برشی رخ ندهد، باید نیروهای حاصل از تحلیل سازه را در ضریب Ω_v ضرب نموده و طراحی برشی را برای این شدت بار جانبی انجام داد.



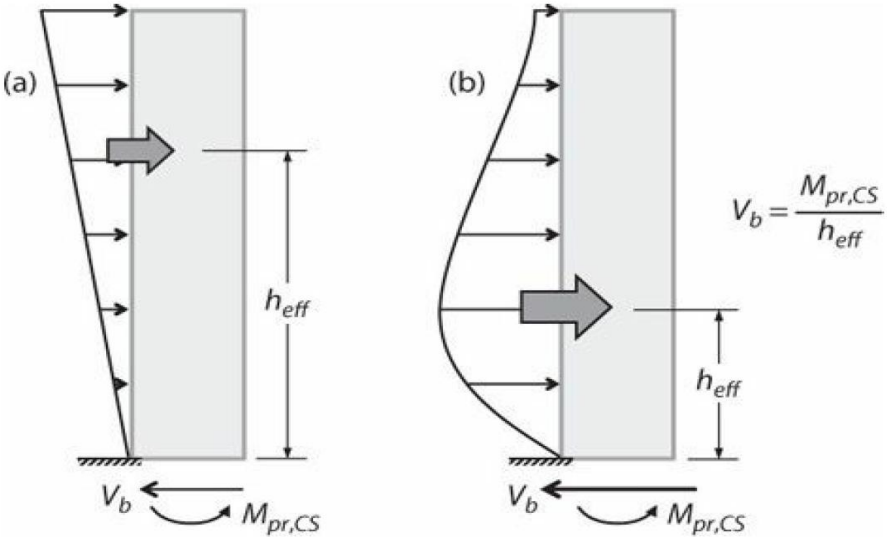
شکل ۳- مفهوم ضریب اضافه مقاومت خمشی

ب- اثر تشدید برش دینامیکی:

با توجه به اینکه در روش‌های طراحی تجویزی مورد استفاده در آیین نامه‌های مورد بحث، از ضریب رفتار برای کاهش نیروهای لرزه‌ای استفاده شده است در خلال زلزله طرح، سازه وارد رفتار غیرالاستیک خواهد شد. حال اگر سایر مودهای شکست رخ ندهند و در سایر مقاطع دیوار زودتر مفصل تشکیل نشود، به ناچار مقدار ممان در پای دیوار همواره به M_{pr} خواهد رسید.

حال فرض کنید به یک دیوار یک بار جانبی با الگوی ثابت و مقدار مشخص اعمال شده است و شدت بار در حدی است که ممان خمشی در پای دیوار به M_{pr} رسیده است یعنی بار با شدت $\Omega_v V_u$ به دیوار وارد شده است(شکل ۴). حال فرض کنید در خلال زلزله الگوی بار جانبی وارد بر سازه به علت عوامل مختلف نظیر آثار مودهای بالاتر تغییر کند و نقطه اثر برآیند نیروها به سمت پایین حرکت نماید. در شکل ۴ بر اساس تعادل استاتیکی می‌توان نوشت: $M_{pr} = V_b . h_{eff}$ و یا $V_b = \frac{M_{pr}}{h_{eff}}$. در رابطه اخیر با توجه به اینکه مقدار M_{pr} ثابت است، کاهش ارتفاع نقطه اثر برآیند نیروها سبب افزایش نیروی برشی در پای دیوار خواهد شد. این اثر، اثر تشدید برش دینامیکی نامیده می‌شود و ضریب تشدید آن با علامت ω_v نمایش داده می‌شود. بنابراین برای اینکه دیوار قبل از رسیدن به M_{pr} دیوار دچار گسیختگی برشی نشود،

باید نیروهای حاصل از تحلیل سازه را در حاصل ضرب ضرایب Ω_v و ω_v ضرب نموده و طراحی برشی را برای این شدت بار جانبی انجام داد.



شکل ۴- مفهوم ضریب تشدید برش دینامیکی

۴- ضوابط طراحی برشی دیوارهای برشی ویژه در آیین‌نامه‌های طراحی

۴-۱- ضوابط مربوط به کنترل برش دیوارهای کوتاه

آیین‌نامه‌های ACI318-99 و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران در دیوارهای کوتاه ($\frac{h_w}{l_w} \leq 1.5$)، گسیختگی برشی را قابل پذیرش می‌دانند. در دیوارهای کوتاه ضابطه کنترل برش به شکل زیر می‌باشد:

$$\frac{h_w}{l_w} \leq 1.5 \quad \Rightarrow V_u \leq \phi V_n$$

از طرفی بر اساس ضوابط بند ۹-۷-۴-۵ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ضریب کاهش مقاومت در برش برابر 0.75 است ولی چنانچه مقاومت برشی اسمی عضو از برش متناظر با توسعه مقاومت خمشی اسمی عضو کمتر باشد، ضریب کاهش مقاومت در برش برابر 0.6 در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در دیوارهای کوتاه ضابطه کنترل برش به شکل زیر است:

$$\frac{h_w}{l_w} \leq 1.5 \quad \Rightarrow V_u \leq 0.6 V_n$$

۴-۲- ضوابط مربوط به کنترل برش دیوارهای لاغر و بینابینی

ضابطه تعیین نیروی برشی در دیوارهایی که کوتاه نیستند $(\frac{h_w}{l_w} > 1.5)$، به این صورت است:

$$\frac{h_w}{l_w} > 1.5 \quad \Rightarrow \Omega_v \omega_v V_u \le \phi V_n \quad , \Omega_v \omega_v \le 3$$

به بیان دیگر مقدار $\Omega_v \omega_v$ لازم نیست بیش از ۳ اختیار شود. در این دیوارها با توجه به اینکه مقاومت برشی اسمی عضو از برش متناظر با توسعه مقاومت خمشی اسمی عضو بیشتر است، ضریب کاهش مقاومت در برش برابر 0.75 است. بنابراین:

$$\frac{h_w}{l_w} > 1.5 \quad \Rightarrow \Omega_v \omega_v V_u \le 0.75 V_n$$

ضوابط مربوط به محاسبه مقادیر ω_v و Ω_v در بند ۹-۲۰-۷-۹-۱ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان شرح داده شده است که در این مطلب تکرار نمی‌شود.

۴-۳- مقاومت برشی اسمی دیوار

بر اساس ضوابط بند ۹-۲۰-۷-۹-۵ از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، حد بالای مقاومت برشی اسمی دیوارها (که ضخامت دیوار معمولا بر اساس آن محاسبه می‌شود) فقط به ابعاد دیوار و مقاومت فشاری مشخصه بتن بستگی دارد و از نسبت ارتفاع به طول دیوار مستقل است. در این بند داریم:

> **۹-۲۰-۷-۹-۵** در دیوارهایی که متشکل از تعدادی قطعه دیواری قائم بوده و نیروی جانبی مشترکی را تحمل می‌کنند، V_n در کل نباید بیش‌تر از $0.66A_{cv}\sqrt{f'_c}$، و در هر یک از قطعات به تنهایی نباید بیش‌تر از $0.83A_{cw}\sqrt{f'_c}$ منظور گردد. A_{cv} سطح مقطع کل بتن محدود به عرض ضخامت جان و مجموع طول مقاطع دیواری، و A_{cw} ، سطح مقطع هر قطعه‌ی دیواری می‌باشد.

بر اساس ضوابط بند ۹-۲۰-۷-۹-۲ از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، بر خلاف حد بالای مقاومت برشی اسمی دیوارها، سهم بتن از مقاومت اسمی برشی به نسبت ارتفاع به طول دیوار وابسته است. در مقایسه با دیوارهای لاغر، در دیوارهای کوتاه سهم بتن از ظرفیت برشی کل بیشتر و سهم میلگردهای برشی کمتر است. در واقع ظرفیت برشی کل مقطع برای هر دو نوع دیوار یکسان است و فقط نسبت سهم بتن و آرماتورهای برشی متفاوت است. در این بند داریم:

۹-۲۰-۷-۹-۲ مقاومت برشی اسمی دیوار، V_n، نباید از مقدار رابطه‌ی (۹-۲۰-۱۸) بیش‌تر در نظر گرفته شود:

$$V_n = A_{cv}\left(\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y\right) \qquad (۹-۲۰-۱۹)$$

در این رابطه α_c ضریبی است که مطابق (الف) تا (پ) این بند محاسبه می‌شود:

الف- در دیوارهایی که در آن‌ها نسبت $\frac{h_w}{l_w}$ بزرگ‌تر یا مساوی ۲ است: $\alpha_c = 0.17$؛

ب- در دیوارهایی که در آن‌ها نسبت $\frac{h_w}{l_w}$ کوچک‌تر یا مساوی ۱/۵ است: $\alpha_c = 0.25$؛

پ- در دیوارهایی که در آن‌ها نسبت $\frac{h_w}{l_w}$ بین ۱/۵ و ۲ است، ضریب α_c با درون یابی خطی بین اعداد فوق تعیین می‌شود.

۵- نحوه طراحی برشی دیوارهای ویژه با استفاده از نرم‌افزار ETABS

۵-۱- موارد مغایرت طراحی ETABS با ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان

در نرم افزار ETABS، در چند مورد نحوه اعمال ضوابط، با آنچه مورد نظر آیین‌نامه است مغایرت دارد. این موارد عبارتند از:

۵-۱-۱- ضرایب Ω_v و ω_v محاسبه نمی‌شوند و افزایش نیروی برشی طراحی در دیوارهای لاغر و بینابینی انجام نمی‌شود.

۵-۱-۲- مقدار h_w به جای ارتفاع کل دیوار، برابر ارتفاع طبقه لحاظ می‌شود.

۵-۱-۳- امکان در نظر گرفتن افزایش مقاومت برشی اسمی در برخی قطعات قائم دیوار، موضوع بند ۹-۲۰-۷-۹-۵ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، وجود ندارد.

۵-۱-۴- اگر از المان خطی برای مدل کردن ستونها استفاده شده باشد، ETABS نصف بعد ستون در محاسبه طول دیوار منظور نمی‌کند و در مقابل نیروهای ستون‌ها را نیز در محاسبه نیروی برشی لحاظ نمی‌نماید. به بیان دیگر ETABS فقط طول المانهای shell را در محاسبه ظرفیت برشی لحاظ می‌کند و در مقابل فقط نیروی المان‌های shell را در محاسبات نیاز نیرویی منظور می‌نماید.

۵-۲- نحوه اصلاح نتایج ETABS برای همخوانی با ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان

در این بخش به بررسی موارد مطرح شده در بند فوق و روش اصلاح نتایج پرداخته می‌شود.

۵-۲-۱- در نظر نگرفتن ضرایب Ω_v و ω_v:

بر اساس آنچه در بند ۴ این مطلب بیان شد، این موضوع در خصوص دیوارهای کوتاه ($\frac{h_w}{l_w} \leq 1.5$) موضوعیت ندارد. اما در خصوص سایر دیوارها ($\frac{h_w}{l_w} > 1.5$) به منظور اعمال ضرایب Ω_v و ω_v به جای افزایش بارهای طراحی، می‌توان مقدار ضریب کاهش مقاومت برشی را کاهش داد:

$$\frac{h_w}{l_w} > 1.5 \quad \Rightarrow \Omega_v \omega_v V_u \leq \phi V_n \quad \Rightarrow \quad V_u \leq \frac{\phi}{\Omega_v \omega_v} V_n$$

بنابراین در نرم افزار به جای مقدار ϕ عبارت $\frac{\phi}{\Omega_v \omega_v}$ وارد می‌شود که در ادامه مطلب آن را ϕ_{ETABS} می‌نامیم.

در دیوارهای لاغر و بینابینی با توجه به اینکه مقاومت برشی اسمی عضو از برش متناظر با توسعه مقاومت خمشی محتمل عضو بیشتر است، ضریب کاهش مقاومت در برش برابر 0.75 در نظر گرفته می‌شود. همچنین در این دیوارها $\Omega_v \geq 1.5$ و $\Omega_v \omega_v \leq 3.0$. بنابراین داریم:

$$1.5 \leq \Omega_v \omega_v \leq 3 \quad \Rightarrow \quad \frac{0.75}{1.5} \geq \frac{0.75}{\Omega_v \omega_v} \geq \frac{0.75}{3} \quad \Rightarrow \quad 0.5 \geq \phi_{ETABS} \geq 0.25$$

بنابراین برای دیوارهای غیرکوتاه مقدار ϕ در نرم‌افزار عددی بین 0.25 تا 0.50 وارد خواهد شد. لازم به ذکر است یک فایل EXCEL مقدماتی برای مقاصد آموزشی در کانال تلگرام قرار داده شده است که برای موارد ساده می‌توان مقادیر ω_v ، Ω_v و ϕ_{ETABS} را با استفاده از آن محاسبه کرد.

۵-۲-۲- منظور کردن h_w برابر با مقدار ارتفاع طبقه به جای ارتفاع کل دیوار

همانطور که در بخش ۴-۳ این مطلب بیان شد، بر اساس ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، حد بالای مقاومت برشی اسمی دیوارها (که ضخامت دیوار معمولا بر اساس آن محاسبه می‌شود) فقط به ابعاد دیوار و مقاومت مشخصه بتن بستگی دارد و از نسبت ارتفاع به طول دیوار مستقل است. بنابراین این خطای ETABS تاثیری بر محاسبه ضخامت دیوار ندارد و تاثیر آن فقط در تقسیم ظرفیت تامین شده بین بتن و آرماتور است که به سادگی قابل محاسبه و اصلاح است.

اگر ضریب α_c محاسبه شده توسط ETABS را α_{ETABS} و مقدار صحیح آن را (که کابر بر اساس نسبت ارتفاع به طول دیوار محاسبه کرده است) $\alpha_{correct}$ بنامیم؛ همچنین مقدار نسبت مساحت آرماتور عرضی به سطح مقطع ناخالص بتن را که ETABS محاسبه کرده ρ_{ETABS} و مقدار صحیح آن را ρ_t بنامیم، داریم:

$$A_{cv}\left(\alpha_{Correct}\sqrt{f'_c} + \rho_t f_y\right) = A_{cv}\left(\alpha_{ETABS}\sqrt{f'_c} + \rho_{ETABS} f_y\right)$$

$$\rho_t = \rho_{ETABS} + \frac{(\alpha_{ETABS} - \alpha_{Correct})\sqrt{f'_c}}{f_y}$$

بنابراین پس از اینکه طراحی با نرم‌افزار ETABS تکمیل شد، در مرحله ترسیم نقشه‌ها به مقدار نسبت مساحت میلگردهای افقی به سطح مقطع موثر برشی یا همان ρ_t مقدار $\frac{(\alpha_{ETABS}-\alpha_{Correct})\sqrt{f'_c}}{f_y}$ افزوده خواهد شد. برای مثال برای یک دیوار لاغر $\alpha_c = 0.17$ که ETABS آن را به اشتباه $\alpha_c = 0.25$ محاسبه کرده است (بدترین حالت) و برای $f'_c = 25\ Mpa$ و $f_y = 400\ Mpa$ داریم:

$$\rho_t = \rho_{ETABS} + 0.001$$

و در مرحله ترسیم نقشه‌ها به مقدار ρ_t دیوار مثال فوق، مقدار 0.001 افزوده خواهد شد.

به منظور بررسی عددی میزان تاثیر این خطا، یک دیوار با طول 6.78m و ارتفاع کل 29.9m با ارتفاع طبقات 3.96m را در نظر بگیرید که در مقطع مورد مطالعه ضخامت آن ۴۵ سانتیمتر، $f'_c = 30\ Mpa$ و $f_y = 400\ Mpa$ است و مقدار آرماتور برشی گزارش شده توسط ETABS، $20.557\frac{cm^2}{m}$ است که معادل با دو لایه آرماتور افقی $\Phi 16@20cm$ می‌باشد. داریم:

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{29.9}{6.78} = 4.41 \quad \Rightarrow \quad \alpha_{correct} = 0.17$$
$$\frac{h_u}{l_w} = \frac{3.96}{6.78} = 0.58 \quad \Rightarrow \quad \alpha_{ETABS} = 0.25$$
$$\rho_{ETABS} = \frac{20.557}{45 \times 100} = 0.00457$$

$$\rho_t = \rho_{ETABS} + \frac{(\alpha_{ETABS}-\alpha_{Correct})\sqrt{f'_c}}{f_y} = \rho_{ETABS} + 0.08 \times \frac{\sqrt{30}}{400} = 0.00457 + 0.0011 = 0.00567$$

$$A_{s,t} = 0.00567 \times 100 \times 45 = 25.515\frac{cm^2}{m}$$

این مقدار میلگرد متناظر با دو لایه آرماتور افقی $\Phi 18@20cm$ است. همانطور که ملاحظه می‌شود، تصحیح خطای ETABS، سبب می‌شود قطر میلگردهای افقی از 16mm به 18mm افزایش یابد. آرماتور افقی محاسباتی ETABS برای زمانی که آرماتور افقی نزدیک به مقدار حداقل یعنی $\rho_{ETABS} = 0.0025$ است، بیش از 40% خطا دارد.

تذکر ۱: هنگام اصلاح نتایج خروجی ETABS، باید به محل‌هایی که آرماتور حداقل نیاز است، توجه ویژه نمود. در دیوارهای برشی ویژه مقدار حداقل ρ_t، برابر 0.0025 است و بدیهی است که یکی از تبعات اشتباه محاسبه کردن h_w این است که در برخی مقاطعی که آرماتور برشی بیش از مقدار حداقل نیاز است، آرماتور برشی حداقل گزارش می‌شود. چنانچه کاربر قصد داشته باشد، در مقاطعی که طبق ضوابط آیین‌نامه آرماتور برشی حداقل لازم است، از اضافه نمودن مقدار $\frac{(\alpha_{ETABS}-\alpha_{Correct})\sqrt{f'_c}}{f_y}$ به نتایج خروجی گزارش شده توسط ETABS خودداری نماید، باید محل‌هایی را که آرماتور حداقل نیاز است به صورت دستی محاسبه نماید.

تذکر ۲: در برخی از نسخه‌ها، نرم افزار ETABS بر خلاف آنچه در manual آن بیان شده، در محاسبات ظرفیت برشی تامین شده با بتن، علاوه بر ظرفیت محاسبه شده توسط فرمول‌های مربوط به دیوارهای برشی ویژه از روابط عادی آیین نامه نیز استفاده می‌نماید. این موضوع سبب می‌شود در برخی موارد، ETABS ظرفیت تامین شده با بتن را کمتر از آنچه از فرمول‌های مربوط به دیوارهای برشی ویژه به دست می‌آید محاسبه نماید که این موضوع در روش مطرح شده اخلال خاصی ایجاد نمی‌نماید، زیرا کمتر در نظر گرفتن مقدار ظرفیت تامین شده توسط بتن سبب خواهد شد مقدار آرماتورهای برشی اندکی محافظه کارانه محاسبه شوند.

در دیوارهای برشی ویژه لاغر و بینابینی (غیرکوتاه)، به علت کاهش ضریب کاهش مقاومت برشی لرزه‌ای ϕ_{ETABS} مطابق روش شرح داده شده، در غالب موارد در ETABS فرمول‌های مقاومت برشی اسمی تامین شده با بتن حاصل از روابط لرزه‌ای، حاکم می‌شود و بنابراین در غالب موارد ETABS مقاومت برشی تامین شده با بتن را صحیح محاسبه می‌کند. چنانچه در موارد معدودی روابط ظرفیت عادی حاکم شود، پس از اصلاح ρ_t با روش بیان شده، مقدار آرماتورهای برشی اندکی بیش از مقدار مورد نیاز محاسبه خواهد شد ولی در هیچ حالتی کمتر از مقدار مورد نیاز محاسبه نخواهد شد.

در صورت استفاده از نسخه‌های ذکر شده، در محاسبات ETABS در دیوارهای برشی ویژه کوتاه ممکن است روابط غیرلرزه‌ای بر محاسبات مقاومت برشی اسمی تامین شده با بتن حاکم شود. در این صورت ETABS آرماتور برشی را بیش از آنچه نیاز است گزارش خواهد کرد که این موضوع بر اساس ضوابط آیین‌نامه محافظه کارانه است. اما توصیه می‌شود درصورتی که کاربر بر ضوابط اشراف کامل دارد، محاسبات ظرفیت برشی تامین شده توسط بتن را به صورت دستی کنترل نماید و در صورت لزوم آرماتورهای برشی محاسبه شده توسط ETABS را به مقادیر صحیح کاهش دهد تا مود خرابی دیوار از تسلیم میلگردها به خرابی بتن سوق ننماید.

۵-۲-۳- در نظر نگرفتن امکان افزایش مقاومت برشی اسمی در برخی قطعات قائم دیوار، موضوع بند ۹-۲۰-۷-۹-۵ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان

این موضوع در جهت اطمینان است و نیاز به اصلاح نتایج نمی‌باشد. اما درصورتی که کاربر بر ضوابط اشراف کامل دارد، می‌تواند از این ظرفیت آیین نامه استفاده نماید. در بند مذکور نیروی برشی مشترک به سه صورت تفسیر می‌شود: الف- کل برش طبقه ب- برش تحمل شده توسط دیوارهای روی یک محور ج- نیروی برشی مربوط به پایه‌های یک دیوار دارای بازشو. در صورت تمایل به استفاده از این بند، توصیه می‌شود نظر نظام مهندسی شهر مربوطه در خصوص تفسیر بند فوق استعلام گردد.

۵-۲-۴- در نظر گرفتن فقط طول المانهای shell را در محاسبه ظرفیت برشی و در نظر گرفتن فقط نیروی المان‌های shell در محاسبات نیاز نیرویی.

به عقیده اینجانب این روش هر چند دقیقاً منطبق بر ضوابط آیین نامه نیست، اما در محدوده دقت مورد نیاز طراحی، دقت کافی دارد و نیاز به انجام عملیات اضافی در این خصوص نمی‌باشد.

۶- جمع بندی

برای طراحی دیوارهای برشی با استفاده از نرم‌افزار ETABS، تنها انجام اصلاحات زیر الزامی است:

۱- در دیوارهای لاغر ($\frac{h_w}{l_w} \geq 2.0$) و بینابینی ($2.0 > \frac{h_w}{l_w} > 1.5$)، به منظور در نظر گرفتن اثر افزایش اضافه مقاومت خمشی و اثر تشدید برش دینامیکی (مورد اخیر فقط در دیوارهای لاغر موضوعیت دارد)، باید در نرم‌افزار ETABS، ضریب ϕ را عددی بین 0.25 تا 0.5 وارد کرد، که جزییات محاسبات شرح داده شده است. لازم به ذکر است در دیوارهای کوتاه ($\frac{h_w}{l_w} \leq 1.5$) مقدار ضریب ϕ را باید برابر 0.6 وارد کرد.

۲- در دیوارهای لاغر ($\frac{h_w}{l_w} \geq 2.0$) و بینابینی ($2.0 > \frac{h_w}{l_w} > 1.5$)، لازم است به مقدار آرماتور برشی محاسبه شده توسط ETABS مقداری افزوده شود. مقدار آرماتور اضافی را باید با استفاده از رابطه بیان شده در متن محاسبه کرد. در دیوارهای کوتاه $\left(\frac{h_w}{l_w} \leq 1.5\right)$، ممکن است در برخی نسخه‌های نرم‌افزار مقدار آرماتور محاسبه شده قابل کاهش باشد.

در برخی موارد برای بهینه کردن طرح می‌توان محاسباتی را علاوه بر محاسبات نرم‌افزار انجام داد که در متن به این موارد پرداخته شده است.

در پایان مجدداً، از صاحبنظران محترم خواهشمندم چنانچه در مطالب ارائه شده، اشتباه یا نقصانی مشاهده می‌نمایند، من را از طریق آدرس ارتباطی کانال تلگرام Amirhossein_Shodja@ مطلع نمایند.