

# مبانی طرح لرزه‌ای دیوارهای برشی فولادی

ترجمه و تدوین: مهدی علی‌رضایی

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر (M.Alirezaei@iiees.ac.ir)

## ۱. مقدمه و معرفی

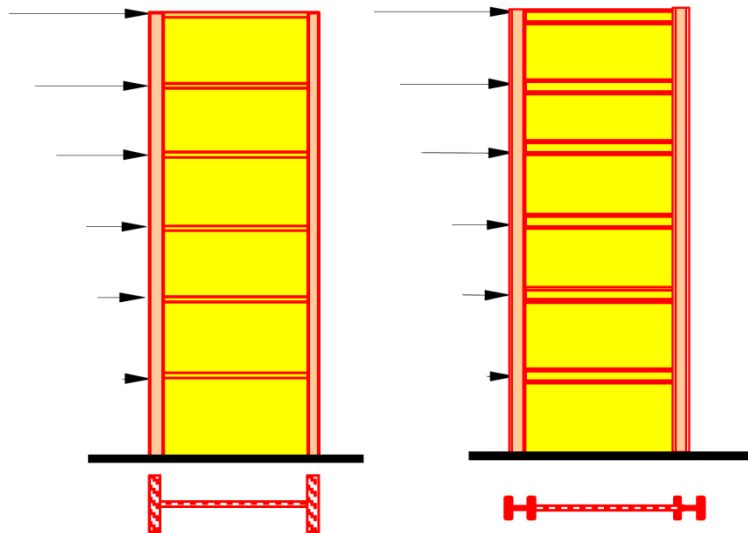
این نوشتار بطور خلاصه رفتار و عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی فولادی را مورد بررسی قرار خواهد داد. امروزه استفاده از دیوارهای برشی فولادی به عنوان یک سیستم باربر جانبی لرزه‌ای بطور کارآمد در بهسازی لرزه‌ای به منظور افزایش مقاومت جانبی ساختمان در برابر زلزله در سازه‌های فولادی و بتنی مورد توجه قرار گرفته است. به مانند هر سیستم لرزه‌بر دیگر، دیوارها برشی فولادی نیز وظیفه مقابله با نیروهای اینرسی زلزله است که این مهم بدون توجه به اثرات شکل‌پذیری و جزئیات مناسب برای آن امکان‌پذیر نخواهد بود. از اوایل سال ۱۹۷۰ میلادی استفاده از این سیستم لرزه‌بر در برخی کشورها مانند ژاپن و ایالات متحده مورد توجه قرار گرفت که این سازه‌ها در طی زلزله‌های گذشته عملکرد خوبی را نشان داده‌اند. در سال ۲۰۰۵ آیین‌نامه AISC، ضوابطی را برای طرح لرزه‌ای این سیستم ارائه داد. شکل‌پذیری بالا و قابلیت اتلاف انرژی این سیستم در صورتی که بطور مناسبی اجرا شود، بسیار بالا خواهد بود. همچنین از دیگر مزایای این سیستم، سختی بالا و کاهش جابجایی طبقات است. این سیستم در قیاس با دیوار برشی بتنی دارای وزن کمتری بوده و همچنین می‌توان با استفاده از جوش‌های کارخانه‌ای و استفاده از پیچ و مهره برای اتصال آن در کارگاه<sup>۱</sup> می‌توان بطور قابل ملاحظه‌ای زمان اجرای پروژه و همچنین کنترل کیفیت اجرا را بالا برد. ورق استفاده شده در دیوار برشی فولادی دارای ضخامت ناچیزی در قیاس با ضخامت دیوار برشی بتنی است که این امر باعث استفاده بهینه از فضای معماری خواهد شد.

سیستم دیوار برشی فولادی متشکل از ورق‌های فولادی، ستون‌های حایل (VBE) و تیرهای (HBE) که در تراز هر طبقه وجود دارد تشکیل شده است. رفتار و عملکرد دیوارهای برشی فولادی را می‌توان با عملکرد تیروورق‌ها شبیه‌سازی نمود (شکل ۱ را ببینید). ستون‌های دیوار برشی فولادی را می‌توان به بال تیروورق و تیرهای موجود در تراز طبقات به مانند جان تیر می‌باشند.

<sup>۱</sup> Shop Welded-Field Bolted

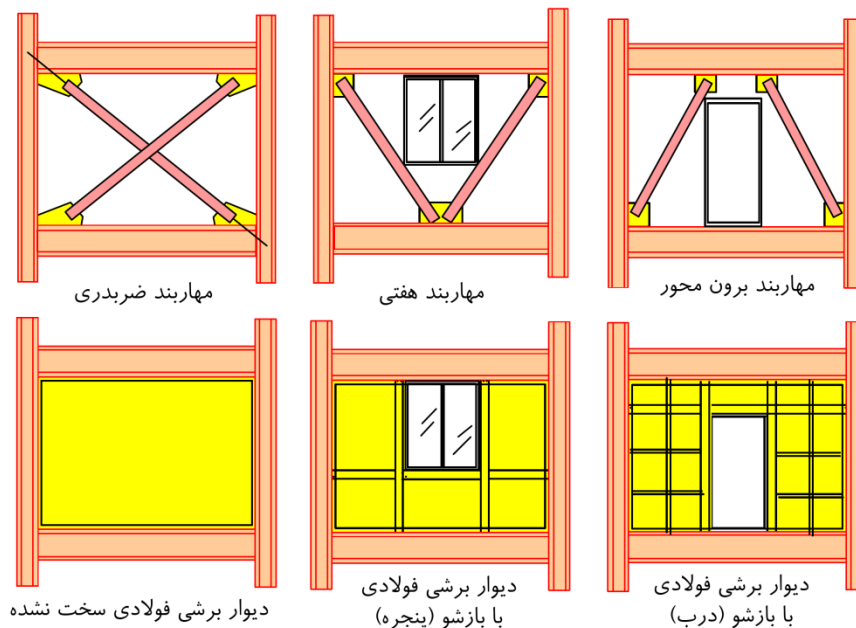
<sup>۲</sup> Vertical Boundary Element

<sup>۳</sup> Horizontal Boundary Element



شکل ۱- تشابه دیوار برشی فولادی (سمت راست) با تیرورق (سمت چپ)

در مقایسه با سیستم‌های مهاربندی شده دیگر، این سیستم نیز می‌تواند مزایای این قاب‌های مهاربندی شده را به لحاظ ملاحظات معماری را دارا باشد. به عنوان مثال در شکل ۲، برخی از دیوارهای برشی سخت شده و سخت نشده جهت مقایسه آنها با سیستم مهاربندی شده نشان داده شده است.

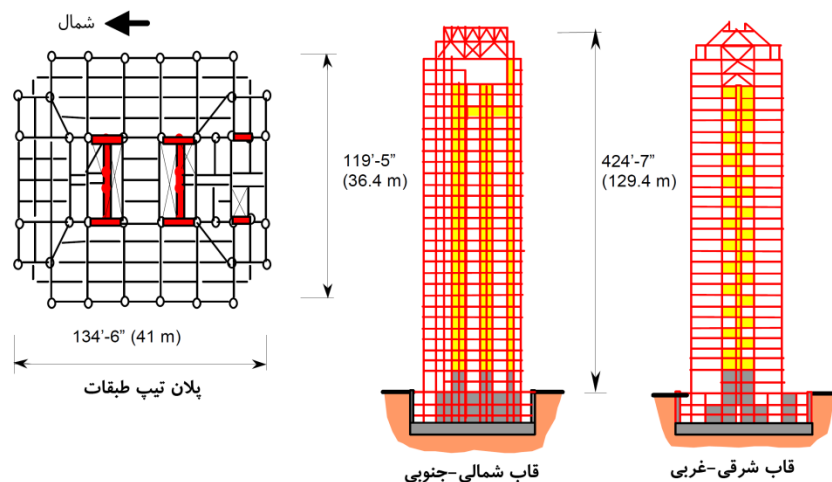


شکل ۲- سه سیستم مهاربندی (شکل‌های بالا) و دهانه‌های متناظر در دیوار برشی فولادی

ساختمان ۲۰ طبقه اداری در توکیو ژاپن مربوط به شرکت فولاد نیپون<sup>۴</sup> که ساخت آن در سال ۱۹۷۰ میلادی به پایان رسید را شاید بتوان از اولین ساختمان‌های مهمی قلمداد کرد که سیستم لرزه‌بر آن دیوار برشی فولادی است. یکی از شاخص‌ترین ساختمان‌هایی که با دیوار برشی فولادی در منطقه با لرزه‌خیزی زیاد ساخته شده، ساختمان ۳۵ طبقه در کوبه ژاپن است. این

<sup>۴</sup> Nippon Steel Building

سازه در سال ۱۹۸۸ میلادی بنا گردیده و در سال ۱۹۹۵ زلزله کوبه را تجربه کرده است که هیچ گونه خسارت قابل ملاحظه‌ای را در حین این زلزله نداشته است. برخی از خسارات محدود وارد بر این سازه شامل کماتش موضعی ورق‌های سخت کننده در دیوار برشی طبقه ۲۶ و تغییر مکان جانبی دائمی در آن سقف به میزان ۲۲۵ میلیمتر در جهت شمال و ۳۵ میلیمتر در جهت غرب بود. این سازه یک سیستم ترکیبی شامل قاب‌های خمشی و دیوارهای برشی فولادی می‌باشد. دیوارهای برشی در سه طبقه زیرزمین از بتن مسلح، در طبقات اول و دوم مختلط و در طبقات سوم به بالا از دیوار برشی سخت شده استفاده شده است (شکل ۳).



شکل ۳- پلان و نماهایی از سیستم باربر جانبی ساختمان ۳۵ طبقه کوبه ژاپن

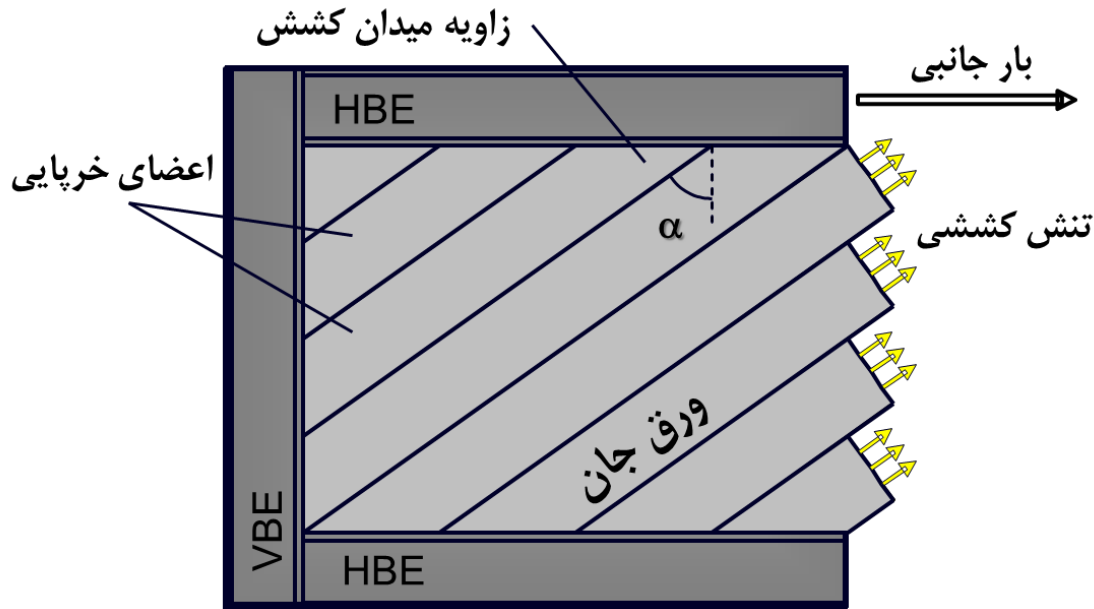
در این سیستم در صورتی که بتوان نیرویی که توسط ورق جان به اعضای مجاور نظیر تیرها (HBE) و ستون‌ها (VBE) منتقل می‌شود را کاهش داد، ابعاد تیرها و ستون‌ها ظریف‌تر شده و طرح اقتصادی خواهد بود. به سبب آنکه نیروهای اعمال شده توسط عضو شکل‌پذیر که همانا ورق جان دیوار برشی می‌باشد به تنش تسلیم عضو شکل‌پذیر بستگی دارد، استفاده از ورق‌های با تنش تسلیم پایین می‌تواند موجب کاهش تقاضای نیرو در تیرها و ستون‌های سیستم باربر جانبی گردد. در سال‌های اخیر استفاده از ورق‌های با تنش تسلیم پایین (LYP)<sup>۵</sup> در ژاپن رایج شده و عملکرد خوبی در دیوارهای برشی فولادی داشته‌اند. تنش تسلیم این فولادها در حدود نصف تنش تسلیم فولاد A36 است.

## ۲. رفتار و تحلیل دیوارهای برشی فولادی

اتصال تیر به ستون در دیوار برشی فولادی می‌تواند بصورت مفصلی و یا خمشی اجرا شود. آیین‌نامه AISC341، استفاده از اتصال خمشی تیر به ستون را در این سیستم باربر جانبی برای مناطق با لرزه‌خیزی زیاد و خیلی زیاد ضروری می‌داند. توربورن و همکاران در سال ۱۹۸۳ میلادی، با توجه به سختی بالای اجزای مرزی قائم، مدل تحلیلی ساده‌ای را به منظور شبیه سازی رفتار میدان کشش براساس نظریه کشش خالص توسعه دادند. در مدل مزبور که مدل نواری نام گرفت میدان کشش توسط اعضای خرپایی کششی با زاویه شیب یکسان مدل شد (شکل ۴). تیرها در مدل صلب فرض شده‌اند و تنش تسلیم ورق جان دیوار برشی به عنوان تنش حدی اعضای خرپایی منظور شده است. این مدل تحلیل را نیز آیین‌نامه کانادا به عنوان ابزاری برای طراحی دیوار برشی توصیه می‌کند. زاویه  $\alpha$  طبق آیین‌نامه AISC341 (ویرایش ۲۰۱۰)، توسط رابطه زیر ارائه شده است.

<sup>۵</sup> Low-Yield Point

$$\tan^4 \alpha = \frac{1 + \frac{t_w L}{2A_c}}{1 + t_w h \left( \frac{1}{A_b} + \frac{h^3}{360I_c} \right)} \quad (\text{رابطه F5-2 آیین نامه AISC341}) \quad (1)$$



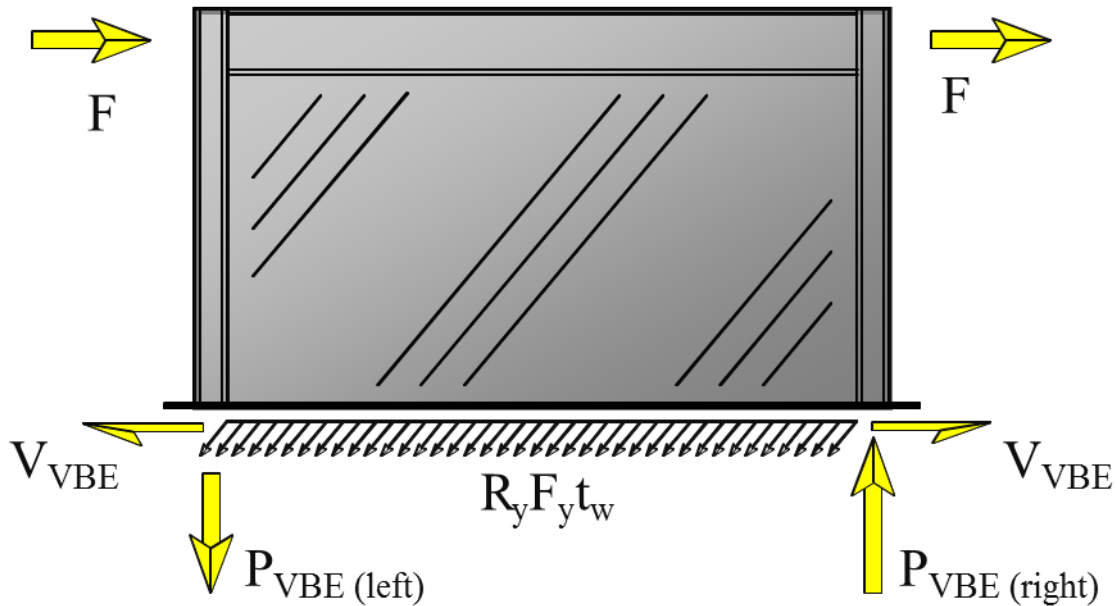
شکل ۴- مدل نواری و رفتار دیوار برشی جهت مدل تحلیلی

که در رابطه فوق،  $I_c$  ممان اینرسی ستون حول محور عمود بر پانل،  $A_c$  مساحت مقطع ستون،  $t_w$  ضخامت ورق،  $L$  عرض دهانه دیوار برشی و  $h$  ارتفاع قاب می‌باشد. همین آیین نامه اجازه می‌دهد به جای استفاده از رابطه (۱) مقدار  $\alpha$  برابر ۴۰ درجه در نظر گرفته شود. بار کمانشی ورق‌های نازک و سخت نشده بسیار ناچیز بوده و پس از وقوع کمانش قطری در ورق جان و از کار افتادن آن نیروی کششی قابل ملاحظه‌ای در راستای عمود بر جهت کمانش در ورق جان توسعه می‌یابد که قادر خواهد بود با نیروی ناشی از زلزله به خوبی مقابله کند. لیکن این نیرو که در ورق جان به سبب ایجاد میدان کشش تولید می‌شود اثر قابل ملاحظه‌ای را بر روی اجزای قائم و افقی متصل به دیوار خواهد گذاشت. تحقیقات نشان داده‌اند استفاده از دیوارهای برشی فولادی با ورق جان نازک سخت نشده که به دیوار برشی ویژه موسوم هستند از نظر کارایی و اقتصادی در تحمل بارهای جانبی دارای عملکرد مطلوبی هستند. آیین نامه AISC341، استفاده از این سیستم را در مناطق با لرزه‌خیزی زیاد توصیه می‌کند. در این سیستم ظرفیت فشاری ورق جان ناچیز و در عوض مقاومت کششی بالایی را خواهد داشت. این نوع دیوار را می‌توان به سیستم مهاربند صرفاً کششی تشبیه نمود. بایستی این نکته را مورد توجه داشت که تشبیه دیوار برشی سخت نشده به مهاربند صرفاً کششی چندان دقیق نیست زیرا در سیستم مهاربند صرفاً کششی تنها یک مهاربند در کشش کار می‌کند و تنها اتصال تیر به ستون را متاثر از خود خواهد کرد. در حالی که در سیستم دیوار برشی فولادی لشکری از مهاربندهای کششی وارد کار شده و تمام اجزای مرزی خود را متاثر می‌کنند. راهنمای شماره ۲۰ آیین نامه AISC341 مقدار نسبت  $L/h$  را بین  $2/5$  تا  $0/8$  در نظر می‌گیرد و آیین نامه FEMA450 حداقل ضخامت ورق جان را مطابق رابطه زیر پیشنهاد می‌کند:

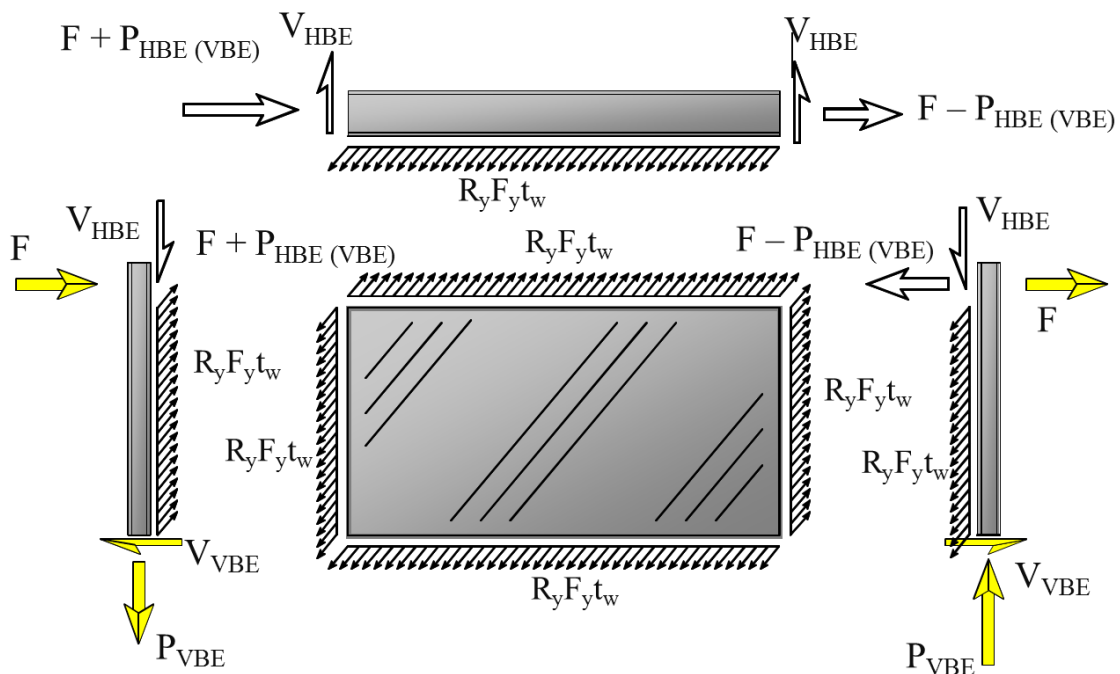
$$\frac{\min(L, h)}{t_w} \leq 25 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2)$$



در شکل ۵، یک دیوار برشی فولادی که تحت بارهای جانبی  $F$ ، نیروی برشی  $V_{VBE}$ ، در اثر عملکرد حوزه کشش، نیروهای محوری فشاری  $P_{VBE(right)}$  در ستون سمت راست و  $P_{VBE(left)}$  در ستون سمت چپ و نیز نیروهای داخلی ایجاد شده در ورق جان نشان داده شده است. جهت سهولت در تبیین نیروهای داخلی اتصال تیر به ستون مفصلی در نظر گرفته شده است. شکل ۶، نمودار آزاد ورق جان عضو مرزی افقی (HBE) و اعضای مرزی قائم (VBE) را با توجه به شکل ۵، نشان می‌دهد.

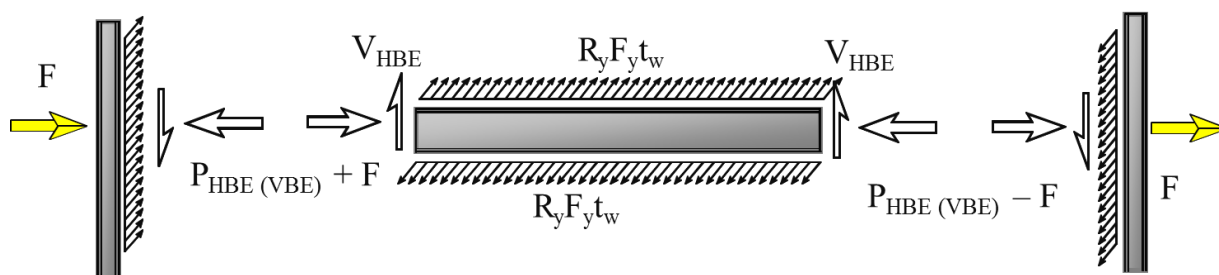


شکل ۵- نیروها اعمالی به دیوار برشی فولادی همراه به عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی



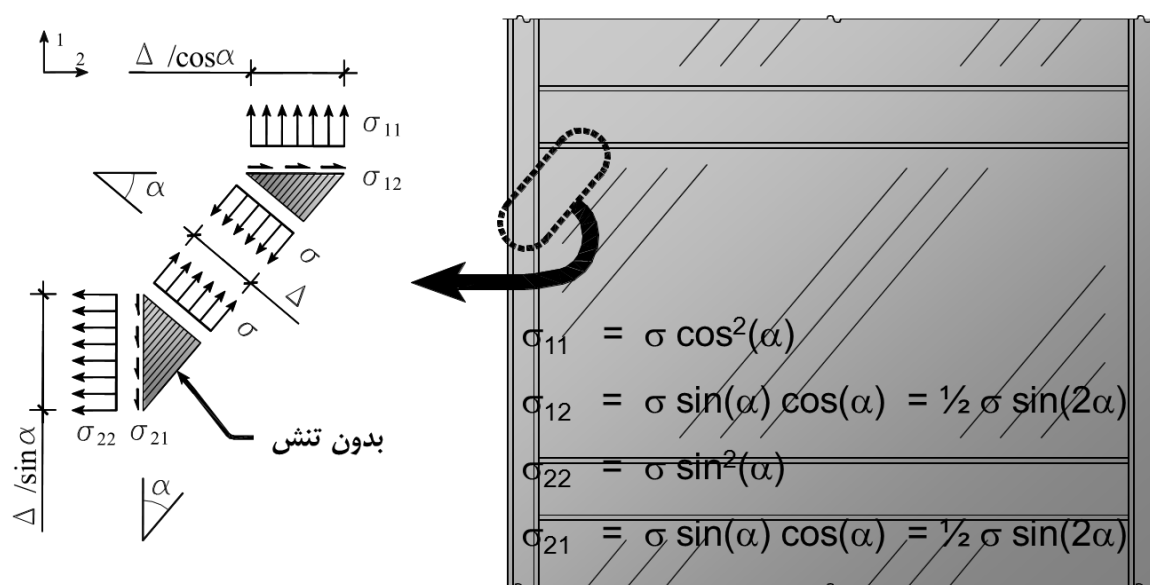
شکل ۶- نمودار آزاد ورق جان و اجزای مرزی دیوار برشی

توجه شود که در شکل‌های نشان داده شده نیروی محوری ایجاد شده در ستون سمت چپ و راست همراه با مولفه قائم نیروهای  $R_y F_y t_w$  متعادل می‌شود. مقدار  $R_y$  ضریب مربوط به تنش تسلیم احتمالی فولاد بوده که طبق مبحث دهم از مقررات ملی ایران برای تمام نیمرخ‌ها و ورق‌ها برابر ۱/۱۵ توصیه شده است. لیکن این مقدار طبق آیین‌نامه AISC برای رده‌های مختلف فولاد و همچنین مقاطع مختلف دارای مقادیر متفاوتی است. با توجه به شکل ۶، نیروی کششی در ورق جان علاوه بر نیروی محوری باعث ایجاد خمشی در تیر نیز می‌شود. ضمانت کافی برای امکان توسعه میدان کشش در ورق جان صلبیت کافی ستون حول محور خمش است. شکل ۷، نمودار آزاد اجزای مرزی در حالتی که عضو مرزی افقی (HBE) از طرف ورق بالا و پایین تحت کشش است را نشان می‌دهد. همانطور که پیداست، مولفه‌های کششی ورق جان در طبقات میانی اعضای مرزی افقی (HBE) تقریباً یکدیگر را خنثی می‌کنند لیکن این عمل در طبقات اول و آخر رخ نداده و استفاده از تیرهای قوی در این طبقات ضروری می‌باشد.



شکل ۷- نمودار آزاد عضو مرزی برای حالت طبقاتی

در طراحی دیوارهای برشی فرض بر جاری شدن ورق جان است. نیروهای حاصل از این کنش غیرارتجاعی به صورت یکنواخت در نظر گرفته می‌شوند. لیکن توزیع این تنش‌ها در محدوده ارتجاعی بسیار غیریکنواخت است. برای درک بهتر از نحوه اعمال نیروهای کششی از طرف ورق جان به اعضای مرزی افقی و قائم، المان‌هایی از گوشه ورق دیوار برشی در شکل ۸، نشان داده شده است. توجه شود که ورق جان فقط تحت کشش خالص در امتداد زاویه  $\alpha$  قرار دارد و هیچ تنش برشی و فشاری در این راستا وجود نخواهد داشت.



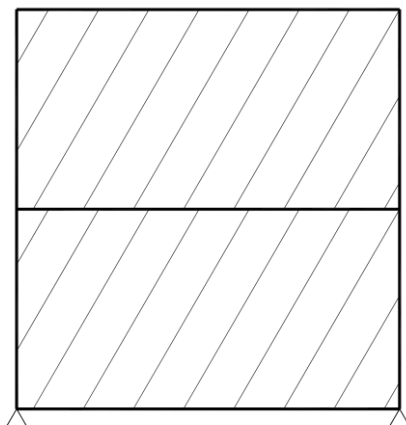
شکل ۸- جزئیاتی از تنش‌های اعمال شده از طرف ورق به اجزای مرزی

با اعمال تعادل برای المان نشان داده شده براحتی می‌توان روابط درج شده بر روی شکل را استخراج نمود. برای تعیین  $\sigma_{11}$ ،  $\sigma_{12}$  و  $\sigma_{22}$  لازم است زاویه  $\alpha$  طبق توصیه AISC341 برابر  $40^\circ$  درجه در نظر گرفته شده و یا توسط رابطه (۱) تعیین شود. روش‌های مختلفی برای تحلیل دیوارهای برشی توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است. سه روش «مدل نواری»، «مدل غشایی ارتوتروپیک» و «مدل غیرارتجاعی» در راهنمای طراحی شماره ۲۰ آیین‌نامه AISC مورد اشاره قرار گرفته است که بطور مختصر به هر یک پرداخته می‌شود. در مدل نواری ورق جان توسط یک سری اعضای قطری موازی که فقط به کشش کار می‌کنند مدل می‌شود. در این مدل حداقل ۱۰ المان نواری در هر پانل اجباری است. نمونه‌ای از مدل نواری در شکل ۹، نشان داده شده است. برای سادگی می‌توان از میانگین زوایای میدان کشش پانل‌های دیوار برشی برای تمام ارتفاع استفاده نمود. در این صورت طول هر قطعه از تیر برای  $n$  نوار چنین است:

$$\Delta_x = \frac{1}{n}(L + h \tan \alpha) \quad (3)$$

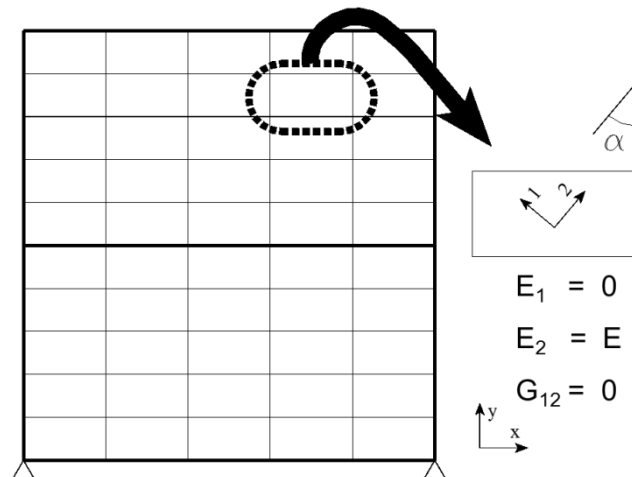
که در رابطه فوق  $L$  عرض پانل،  $h$  ارتفاع پانل و  $n$  تعداد نوارها می‌باشد. همچنین  $A_s$  مساحت معادل نوار چنین است:

$$A_s = \frac{(L \cos \alpha + h \sin \alpha) t_w}{n} \quad (4)$$



شکل ۹- نمونه‌ای از مدل نواری برای تحلیل سازه

مدل نواری را براحتی می‌توان در برنامه‌های تحلیل و طراحی سازه‌ها مثل SAP2000 مدل‌سازی نمود. در صورتی که از روش ورق غشایی ارتوتروپیک استفاده شود، محورهای محلی ورق بایستی متناسب با زاویه  $\alpha$  چرخانده شوند. این مورد را نیز می‌توان بسادگی در نرم‌افزار SAP2000 انجام داد. چون تنش‌های محاسباتی در قطر فشاری ورق صفر و ناچیز است، لذا خصوصیات ماده در امتداد زاویه  $\alpha$  خواص واقعی و در جهت عمود بر آن با سختی صفر در نظر گرفته شود. به عنوان مثال در شکل ۱۰، نمونه‌ای از مدل غشایی ارتوتروپیک نشان داده شده است. در این حالت توصیه می‌شود هر پانل به تعدادی المان کوچکتر (حداقل ۱۶ عدد) تقسیم شود. در صورتی که مدل‌سازی در برنامه SAP2000 انجام می‌شود، ضریب ارتجاعی فولاد در جهت محور محلی ۲، برابر  $2 \times 10^6$  کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و در جهت محور محلی ۱، (جهت فشاری) این مقدار و همچنین مدول برشی برابر صفر منظور می‌شود.



شکل ۱۰- مدل ورق غشایی ارتوتروپیک دیوار برشی

در صورتی که مدل غیرارتجاعی مورد نظر باشد به شرط وجود نرم افزارهای موجود مهندسی جهت مدلسازی دیوار مفید می باشد. لیکن نرم افزارهای رایج مثل SAP2000 و ETABS در حال حاضر قادر به مدلسازی غیرارتجاعی ورق نیستند و تنها می توانند رفتار غیرخطی اعضای قاب را مدلسازی نمایند. لیکن برخی از نرم افزارهای دیگر مانند ANSYS و ABAQUS قابلیت تحلیل غیرارتجاعی ورق ها را نیز دارند. استفاده از این روش تحلیل منجر به یک طرح اقتصادی تر نسبت به روش طرح ظرفیتی می شود.

### ۳. الزامات طراحی دیوارهای برشی فولادی

گام نخست در طراحی دیوار برشی فولادی، طراحی ورق جان است. بدین منظور لازم است ظرفیت اسمی برشی ورق جان طبق رابطه (F5-1) آیین نامه AISC341 (ویرایش ۲۰۱۰) بصورت زیر تعیین شود:

$$V_n = 0.42F_y t_w L_{cf} \sin 2\alpha \quad (5)$$

مقدار  $L_{cf}$  فاصله خالص دو بر ستون می باشد. در صورتی که مراد طراحی دیوار به روش حالات حدی باشد، برای بدست آوردن مقاومت برشی نهایی ورق، رابطه فوق در ضریب اطمینان 0.9 و در صورتی که هدف طراحی به روش تنش مجاز باشد، مقدار فوق در ضریب اطمینان 0.6 ضرب شود. پس از طراحی ورق، اجزای قائم طراحی می شوند. مقدار ممان اینرسی ستون ها بایستی از مقدار حداقل زیر بیشتر باشد:

$$I_c \geq 0.00307 \frac{t_w h^4}{L} \quad (6)$$

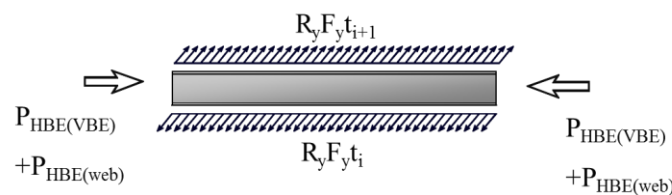
برای اطمینان از وقوع تسلیم کامل کششی در ورق جان، لازم است اعضای مرزی افقی و قائم و اتصالات براساس وقوع تسلیم در جان با تنش تسلیم مورد انتظار  $R_y F_y$  طراحی شوند. در مناطق با لرزه خیزی بالا ضابطه تیر ضعیف- ستون قوی رعایت شود. نسبت عرض به ضخامت اجزای مرزی بایستی ضوابط فشردگی لرزه ای (جدول ۱۰-۳-۱۰ مبحث دهم را ببینید) را ارضا نماید. همچنین تیرهای قاب بایستی دارای مهار جانبی کافی باشند (ضابطه بند ۱۰-۳-۱۰-۸-۲-۴ رعایت شود). اتصالات تیر به ستون



در مناطق با لرزه‌خیزی بالا بایستی به صورت خمشی بوده و قابلیت تجربه تغییرشکل‌های فرارترجاعی را داشته باشد. لیکن رعایت ضوابط لرزه‌ای قاب‌های خمشی با شکل‌پذیری معمولی برای آنها کافی است. با توجه به نمودار آزاد شکل ۱۱، نیروی محوری تیر ناشی از عکس‌العمل افقی ستون ( $P_{HBE(VBE)}$ ) و همچنین نیروی محوری تیر ناشی از تفاوت تنش‌های ورق‌های بالا و پایین آن ( $P_{HBE(web)}$ ) با فرض یکسان بودن جمع‌کننده‌ها در طرفین دیوار برشی به صورت زیر تعیین می‌شود.

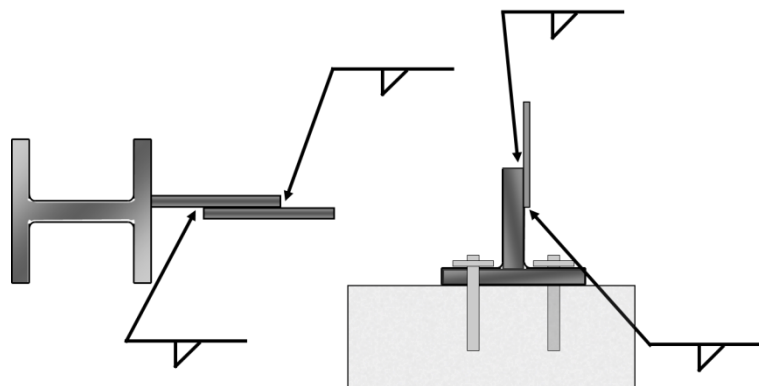
$$P_{HBE(VBE)} = \sum \frac{1}{2} R_y F_y t_w h_c \sin^2 \alpha \quad (7)$$

$$P_{HBE(web)} = \frac{1}{2} R_y F_y [t_i \sin(2\alpha_i) - t_{i+1} \sin(2\alpha_{i+1})] L_{cf} \quad (8)$$



شکل ۱۱- تعیین نیروی محوری تیر جهت طراحی

برای اتصال ورق جان به اعضای مرزی قائم و افقی از یک ورق کمکی مطابق شکل ۱۲، که در کارگاه به اعضای مرزی افقی و قائم جوش می‌شود استفاده می‌گردد.



شکل ۱۲- جزئیات اتصال ورق جان به اجزای مرزی

مثال) قابی از یک ساختمان ۸ طبقه را در نظر بگیرید. ارتفاع طبقات ۳ متر و عرض قاب ۴/۵ متر در نظر گرفته شود. سازه منظم بوده و سیستم لرزه‌بر بکار رفته در آن بصورت سیستم دیوار برشی فولادی به همراه قاب خمشی بوده که بصورت کاملاً متقارن در پلان قرار گرفته است. در هر جهت از دو دیوار برشی استفاده شده است. برش پایه برابر ۲۵۰ تن فرض شود. مقدار تنش تسلیم فولاد برابر ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در نظر گرفته شود. دیوار برشی طبقه اول را طراحی نمایید.

حل) گام اولیه در طراحی دیوار برشی فولادی، طراحی ورق جان بوده و در نهایت بقیه اجزای قاب برای ظرفیت ورق مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. مقدار زاویه  $\alpha$  طبق پیشنهاد AISC341 برابر ۴۰ درجه در نظر گرفته می‌شود. بعد از طراحی اولیه

می‌توان مقدار دقیق آن را از رابطه ۱، بدست آورد. با برابر قرار دادن سهم برش دیوار برشی با ظرفیت برشی آن می‌توان ضخامت ورق را تعیین نمود.

$$V_n = 0.42 F_y t_w L_{cf} \sin 2\alpha \Rightarrow$$

$$250000 \times 0.5 = 0.42 \times 2400 \times t_w \times 400 \sin 80^\circ \times 0.6$$

$$\Rightarrow t_w = 0.6 \text{ cm}$$

ضریب ۰/۵ در رابطه فوق به سبب آن است که در هر جهت دو دیوار برشی وجود دارد و ضریب ۰/۶ نیز ضریب اطمینان به روش تنش مجاز است. توجه شود در این مثال فرض شده است که برش پایه از ضریب رفتار تنش مجازی حاصل شده است. در صورتی که ضریب رفتار حالات حدی باشد، برای طراحی به روش تنش مجاز بایستی آن را بر ۱/۴ تقسیم نمود. برای طراحی ستون‌ها از رابطه ۶، استفاده می‌شود:

$$I_c \geq 0.00307 \frac{t_w h^4}{L} = 0.00307 \frac{0.6 \times 300^4}{400} = 37300 \text{ cm}^4$$

در صورتی که از IPB360 استفاده شود، دارای ممان اینرسی ۴۳۱۹۰ سانتیمتر به توان چهار می‌باشد. برای طراحی تیر، به بار گسترده یکنواخت اعمالی از طرف جان ورق به تیر نیاز می‌باشد. با فرض ضخامت ورق جان طبقه بالا برابر ۵ میلیمتر و با توجه به شکل ۸، مقدار  $\sigma_{11} = \sigma \cos^2(\alpha)$  می‌باشد. با قرار دادن  $R_y F_y$  به جای  $\sigma$  و با توجه به شکل ۷، داریم:

$$w_a = \frac{R_y F_y (t_{i+1} - t_i) \cos^2 \alpha}{1.5} = \frac{1.15 \times 2400 \times (0.1) \cos^2 40^\circ}{1.5} = 108 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

در رابطه فوق  $R_y = 1.15$  طبق مبحث دهم و مقدار ۱/۵ ضریب اطمینان طراحی به روش تنش مجاز می‌باشد. با فرض تشکیل مفصل خمیری در فاصله ۵۰ سانتیمتری از محور ستون‌ها، لنگر حداکثر وسط تیر برابر است با:

$$M_{\max} = \frac{w_a L_1^2}{8} = \frac{10.8 \times 5^2}{8} = 33.75 \text{ t.m}$$

$$0.6 \times 2400 = \frac{33.75 \times 10^5}{S_b} \Rightarrow S_b = 2343 \text{ cm}^3$$

در صورت استفاده از IPE550، این مقطع دارای اساس مقطع ۲۴۴۰ سانتیمتر به توان ۳ و ممان اینرسی ۶۷۱۲۰ سانتیمتر به توان چهار می‌باشد. راهنمای ۲۰ آیین‌نامه AISC341 مقرر می‌دارد که ممان اینرسی مقطع تیر از مقدار زیر کمتر نباشد:

$$I_{HBE} \geq 0.003 \frac{(\Delta t_w) L^4}{h}$$

که در آن  $\Delta t_w$  اختلاف ضخامت ورق‌های بالا و پایین تیر می‌باشد. بنابراین:

$$I_{HBE} \geq 0.003 \frac{(0.1) 400^4}{300} = 25600 \text{ cm}^4$$

مراجع:

- 1- Astaneh-Asl, A., (2001), “**Seismic Behavior and Design of Composite Shear Walls**”, Steel TIPS Report, Structural Steel Educational Council, Moraga, CA.
- 2- Architectural Record Magazine, (1978), “**Steel Plate Shear Walls Blunt the Winds Force and Carry Gravity Load in a Towered Hotel**”, August, pp. 116-117.
- 3- Astaneh-Asl, A., (2001), “**Seismic Behavior and Design of Steel Shear Walls**”, Steel TIPS Report, Structural Steel Educational Council, Moraga, CA.