

تأثیر تیر سخت کننده فوقانی بر رفتار دیوار برشی کوپله

فریبرز ناطقی الهی، استاد و رئیس پژوهشگده مهندسی سازه پژوهشگاه
کیومرث زندپارسا، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد کرج

۱- چکیده

یاسه دیوار کاملاً مستقل مورد بررسی قرار داد. در این صورت، نیروهای جانبی به نسبت سختی هر قسمت، بین دیوارهای مختلف تشکیل دهنده یک دیوار برشی کوپله تقسیم می گردد. در صورت قوی بودن ابعاد تیرها و کفهای اتصالی، حذف اثر تیرها در تحلیل، طرح را غیر اقتصادی خواهد نمود. تأثیر سختی تیرهای اتصال در عملکرد دیوار برشی کوپله بسیار مهم می باشد. نتایج بررسیهای انجام شده که مبین این مسأله می باشد، در این مقاله ارائه گردیده است.

اندرکنش قائم ناشی از وجود تیرهای اتصالی در دیوار برشی کوپله به ابعاد تیرها و نحوه اتصال آنها به دیوارها بستگی دارد. برای مثال، رفتار سازه در دو حالت حدی شامل دیوارهای با اتصال ساده و یا با اتصال یکپارچه با تیرهای ارتباطی را می توان در نظر گرفت. وجود تیرهای اتصالی، باعث افزایش سختی جانبی و کاهش تنشها در دیوار می شود؛ هرچه سختی تیرهای اتصالی بیشتر باشد، سهم نیروی محوری دیوارها در تحمل بارهای جانبی اعمالی افزایش می یابد [۱]. از سوی دیگر، حضور تیر سخت فوقانی نیز (تیر موجود در بالاترین تراز دیوار برشی کوپله)، باعث افزایش سختی سازه و کاهش لنگرهای خمشی در دیوارها به میزان قابل توجهی می گردد. علاوه بر آن، آثار تغییرشکل‌های نسبی ایجاد شده توسط حرکت شالوده را کمتر می نماید [۲].

در مقاله حاضر، با توجه به استفاده از تیر سخت کننده فوقانی که در بالاترین تراز دیوار برشی کوپله قرار می گیرد، تحلیل جامعی برای شالوده صلب، بدون چرخش و شالوده صلب با چرخش ارائه گردیده است. در نهایت، با توجه به نتایج

دیوار برشی سازه ای است که در برابر بارهای جانبی مقاومت می نماید. موقعیت قرارگیری دیوار برشی و نیازهای معماری یا تأسیساتی، گاهی منظور نمودن بازشوهایی به صورت مرتب در ارتفاع دیوار برشی را الزامی و آن را به دو دیوار که توسط تیرهایی در طبقات به یکدیگر متصل می شوند، تبدیل می نماید. این دیوارهای برشی را دیوار برشی کوپله (Coupled Shear Wall) می نامند.

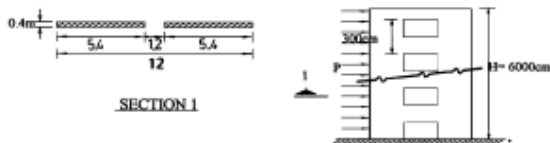
در مقاله حاضر، ابتدا مراحل مختلف محاسبه سختی دیوارهای برشی کوپله بر اساس تیرهای ارتباطی و نحوه تحلیل دیوار مطالعه و سپس دیوار برشی کوپله با تیر سخت کننده فوقانی مورد بررسی دستی و تحلیل رایانه ای قرار گرفته است. هدف از این مقاله ارائه روابط ساده برای این گونه تحلیلها می باشد. برای بسط روابط تعریف شده، مطالعه عددی و موردی برای یک نمونه دیوار برشی کوپله ۲۰ طبقه انجام یافته و تأثیر تیر سخت کننده فوقانی بر کاهش آثار تغییرشکل‌های نسبی ایجاد شده به دلیل چرخش شالوده مشخص گردیده است.

کلیدواژه ها: دیوارهای برشی کوپله، تغییرمکان، رفتار لرزه ای، تیر سخت فوقانی، چرخش شالوده.

۲- مقدمه

ایجاد بازشوها به صورت ردیف قائم در یک دیوار برشی، دیوار را به دو یا چند دیوار موازی تقسیم می نماید که توسط تیرهایی در تراز طبقات با یکدیگر مرتبط می گردند. چنین دیوارهای برشی را کوپله می نامند.

برای ساده سازی تحلیل دیوارهای برشی کوپله، می توان از تیر اتصال صرفنظر کرده و هر دیوار کوپله را به صورت دو



شکل (1): دیوار برشی کوپله

بنابراین، با تحلیل کامپیوتری و بارگذاری استاتیکی برای انواع دیوار برشی بدون بازشو و دیوار برشی کوپله با ابعاد مختلف تیرهای ارتباطی بین دو دیوار، می توان یک حالت مشخص بارگذاری جانبی، تغییرمکان انتهای فوقانی دیوارها را محاسبه و نسبت تغییرمکانها را به دلیل یکسان بودن بار وارده به عنوان نسبت سختی منظور نمود. در واقع، مقایسه این سختی ها می تواند تأثیر بازشوها را بر عملکرد دیوار به عنوان کوپله یا معمولی مشخص نماید. با مبنا قرار دادن سختی دیوار برشی بدون بازشو، تغییرات سختی دیوار برشی با بازشو در شکل (1) نشان داده شده است. این تغییرات بر حسب نوع تیر اتصال محاسبه و نتایج آن در جدول (1) ارائه شده است.

جدول (1): مقایسه حالات مختلف تیر اتصال دیوار برشی کوپله

نوع اتصال	تغییرمکان انتهای دیوار (متر)	درصد سختی نسبت به دیوار بدون بازشو
دیوار بدون بازشو	۰/۰۱۴۹۲	۱۰۰
کف به ضخامت دو متر و عرض ۴۵۰ سانتیمتر و تیر ۸۰×۴۰ سانتیمتر	۰/۰۱۷۰۲	۸۸
فقط تیر اتصال ۸۰×۴۰ سانتیمتر	۰/۰۱۷۱	۸۷
کف به ضخامت ۲۰ سانتیمتر و عرض ۴۵۰ سانتیمتر بدون تیر	۰/۰۱۸۰۵	۸۳
کف به ضخامت ۲۰ سانتیمتر و عرض ۳۰۰ سانتیمتر بدون تیر	۰/۰۱۸۷۹	۷۹
تیر به ضخامت ۲۰ سانتیمتر و عرض ۳۰ سانتیمتر	۰/۰۳۲۲۹	۴۶
دو دیوار ۵۴۰ سانتیمتری بدون تیر اتصال	۰/۰۷۴۹	۲۰

جدول مذکور نشان می دهد که وجود تیر اتصال حتی با ابعاد بسیار کوچک در ظرفیت باربری آن بسیار مؤثر می باشد و اگر دو دیوار، به صورت کاملاً مجزا (بدون تیرهای اتصالی) در نظر گرفته شوند، سختی آن حدود ۲۰ درصد دیوار بدون

عددی تحلیل، اهمیت استفاده از تیر سخت کننده فوقانی در این گونه دیوارها مشخص شده است. علاوه بر آن، در تحلیل دستی، دیوار برشی کوپله به صورت پوسته همراه با فنر مدل گردیده، که نتایج پژوهشهای گذشته را تأیید نموده است.

۳- مروری بر پژوهشهای گذشته

اولین تحقیقات انجام شده در زمینه طراحی دیوارهای برشی کوپله در سال ۱۹۶۱، توسط *Coull, Rossman*، *Cardan, Brnhard, Beak, Hubert, Paulay, Arvidsso, Macleod, Ghoudhury* صورت پذیرفته است که در مقاله مرجع [۳] به هر یک اشاره خاصی شده است.

اکثر مراجع در این زمینه با استفاده از روشهای تحلیل دستی، نتایج تحقیقات را به صورت روابط طولانی ارائه نموده اند و به دلیل پیچیدگی، با فرضیات ساده کننده، دستیابی به روابط تحلیلی امکان پذیر شده است. در واقع، عملکرد دیوار برشی کوپله را نمی توان دقیقاً مشابه عملکرد ستون که عموماً در مدلسازی برای سادگی به کار گرفته می شود در نظر گرفت؛ زیرا رفتار پوسته ای دیوار برشی در عمل باعث تغییر رفتار ستون مشابه می گردد.

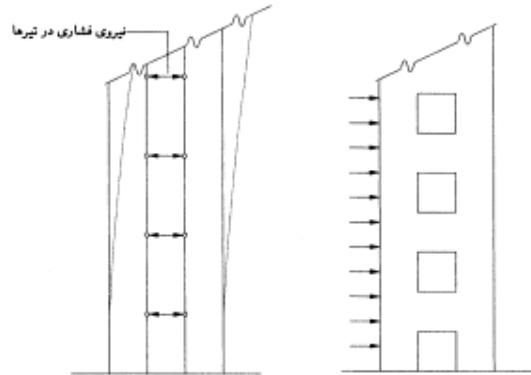
امروزه به دلیل دسترسی به رایانه و نرم افزارهای پیشرفته، بررسی دقیقتر دیوار برشی کوپله میسر شده است. در این مقاله، دیوار برشی کوپله، به صورت پوسته و با منظور نمودن تأثیر خاک بر رفتار چنین سازه هایی بررسی گردیده است.

۴- میزان تأثیر تیرهای سخت کننده

برای روشن نمودن تأثیر تیرهای ارتباطی بین دو دیوار، دیوار برشی کوپله ای به ارتفاع ۶۰ متر با مقطع مطابق شکل (۱) و تحت بارگذاری یکنواخت مورد مطالعه قرار گرفته است. در این بررسی، برای هر یک از حالات، ابعاد مختلفی برای تیرهای ارتباطی بین دو ناحیه دیوار کوپله، در نظر گرفته شده است.

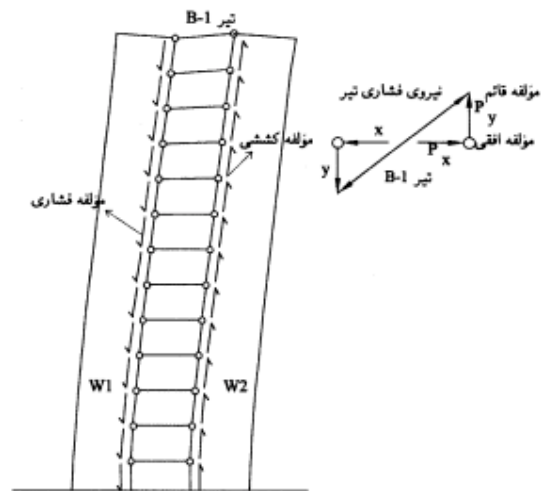
با تعریف سختی به صورت نسبت نیرو به تغییرمکان در دیوار برشی می توان سختی دیوار برشی کوپله را مشخص نمود. برای مثال، سختی دیوار برشی به ارتفاع H ، اینرسی I و ضریب الاستیسیته E از رابطه $\frac{3EI}{H^3}$ به دست می آید؛

بازشو می گردد. در دیوارهایی که طول بازشو کمتر از ۲۰ درصد طول دیوار و ارتفاع بازشو به ارتفاع طبقه کمتر از ۸۰ درصد باشد، میزان کاهش سختی دیوار ناچیز می باشد [۴]. با توجه به مدل نشان داده شده در شکل (۲، ب) بر اثر



الف: بارگذاری جانبی روی دیوار
ب: تغییر شکل دیوار تحت بارگذاری جانبی
شکل (۲): بارگذاری و مدل دیوار برشی کوبله

نیروی جانبی (۲، الف)، نیروهای داخلی در تیرهای اتصال با فرض دو سر مفصل به صورت فشاری خواهد بود و این نیروی فشاری به دو مؤلفه افقی و عمودی قابل تبدیل می باشد. مؤلفه قائم (برش) ایجاد شده در دو انتهای تیر نیز به صورت نیروی محوری به لبه کناری دیوارها وارد می گردد (شکل ۳).

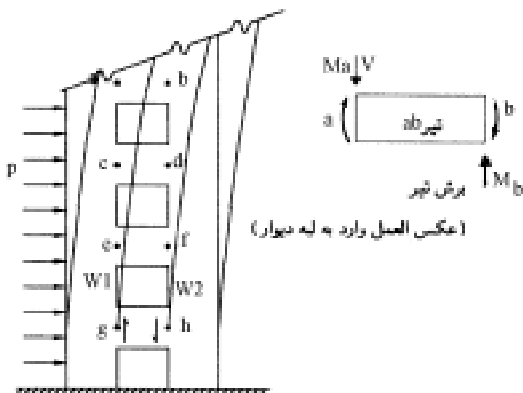


شکل (۳): تغییر شکل دیوار برشی کوبله

با توجه به شکل (۳) در دو سر تیر (B-1) نیروی فشاری به دو مؤلفه تبدیل می شود که تأثیر آن در سمت چپ دیوار (W2) به صورت کششی خواهد بود؛ لذا، این ناحیه از دیوار تحت کشش قرار خواهد گرفت.

در صورت استفاده از تیرهای قوی با اتصال صلب (به جای تیر ضعیف و اتصال ساده)، در محل اتصال تیر با دیوارهای W1 و W2 برش و لنگر زیادی ایجاد و نحوه انتقال نیرو تغییر خواهد نمود (شکل ۴)؛ بنابراین، در لبه سمت چپ دیوار (W2) یعنی نقاط f, d, b و h نیروی فشاری و در لبه سمت راست دیوار (W1) یعنی نقاط e, c, a و g نیروی کششی ایجاد می گردد [۵].

با توجه به آنکه بر اثر تغییر شکل ایجاد شده ناشی از بار جانبی در هر یک از دو دیوار W1 و W2، نیروهایی در خلاف جهت نیروهای ایجاد شده بر اثر وجود تیرهای قوی اتصال دهنده دو دیوار می باشد، می توان نتیجه گرفت که وجود تیرهای قوی بین دو دیوار و در تراز طبقات مختلف، باعث کاهش نیروی داخلی هر یک از دو دیوار می گردد و تغییر مکان دیوار برشی کوبله را کاهش می دهد؛ لذا، هر اندازه هم که سختی تیرهای اتصال کم باشد، در کوبله عمل- نمودن دیوار بی تأثیر نبوده و با افزایش سختی تیرهای اتصال، سختی دیوار کوبله افزایش می یابد.

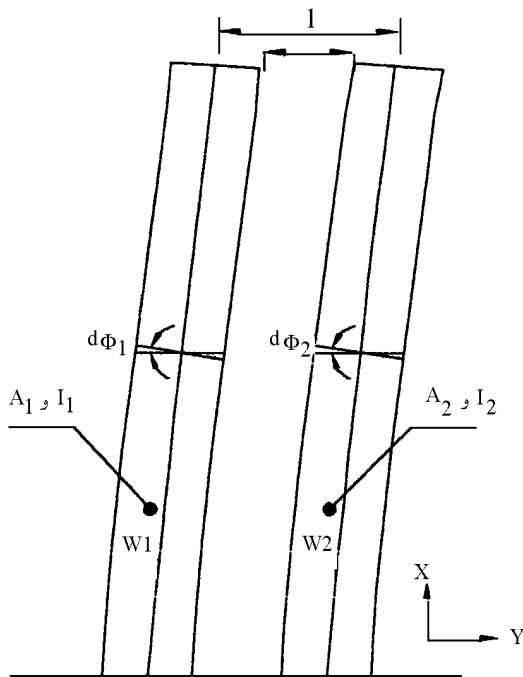


در واقع حد نهایت ابعاد تیرها وقتی است که کل بازشوها پر شوند و در این حالت، در ناحیه میانی که تار خنثی دیوار برشی خواهد شد تنش ناچیز می شود و ناحیه فشاری فقط در سمت راست دیوار (نقطه a در شکل ۴) ایجاد می گردد. حالت دیگری که بررسی گردیده، استفاده از تیر با اتصالات ضعیف در طبقات با یک تیر قوی با اتصال صلب در بالاترین تراز دیوار بوده است. در واقع، تیر سخت کننده فوقانی (شکل ۵) به صورت تکیه گاه مجازی (تکیه گاه پیچشی) عمل نموده و با جذب لنگر، ضمن کاهش لنگر در پای دیوار

۵- تحلیل دیوار برشی کوبله بدون تیر سخت کننده فوقانی

در این تحلیل ابتدا دیوار برشی کوبله بدون تیر سخت کننده فوقانی مورد بررسی قرار گرفته و معادله حاکم به دست آمده است. با توجه به شکل (۶) و با استفاده از معادله دیفرانسیل منحنی الاستیک $\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{-M}{EI}$ تغییر مکان هر نقطه از دو دیوار (W1 و W2) از روابط (۱) و (۲) محاسبه می شوند:

$$y_1 = \int \frac{M_1 x dx}{EI_1} \quad (1)$$

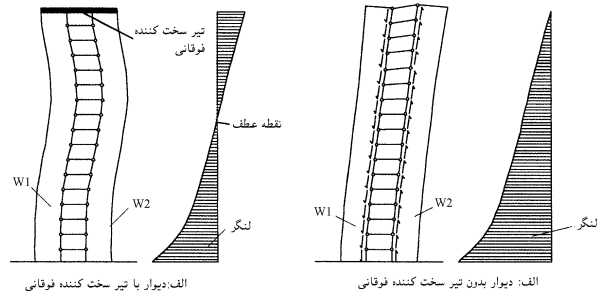


شکل (۶): مشخصات دیوار برشی کوبله

$$y_2 = \int \frac{M_2 x dx}{EI_2} \quad (2)$$

در روابط (۱) و (۲)، M_1 و M_2 لنگر خمشی ایجاد شده در هر مقطع هر یک از دیوارهای متشکله W1 و W2 است. با فرض $y_1 = y_2$ به دلیل وجود کف صلب و تعیین M_b به صورت رابطه (۳)، رابطه (۴) به دست خواهد آمد:

$$M_b = M_1 + M_2 \quad (3)$$

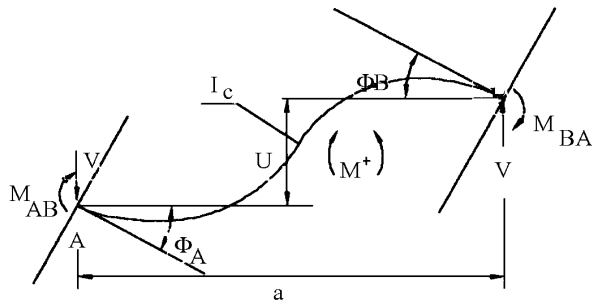


شکل (۵): عملکرد تیر فوقانی در تغییرات لنگر در ارتفاع

با استفاده از تیرهای ضعیف برای اتصال دو دیوار (شکل ۵، الف)، هر یک از آنها مانند یک تیر طره عمل می نماید و تراز بالای آن به آزادی دوران می کند؛ اما، اگر آنها با یک تیر سخت کننده فوقانی به یکدیگر متصل شده باشند (شکل ۵، ب)، از دوران بالای سیستم جلوگیری می شود و در واقع تیر سخت کننده به عنوان تکیه گاه مجازی عمل نموده و دو دیوار را مهار می نماید. گیرداری جزئی که در تراز بالای دیوار ایجاد می شود در منحنی لنگر منعکس گردیده است؛ بنابراین، عملکرد این سیستم مانند یک تیر طره ای خالص نبوده و مشابه تیر با تکیه گاه عمل خواهد نمود. در این حالت، منحنی تغییر شکل حاصله به صورت یک S کشیده با لنگر خمشی برابر صفر در نقطه عطف می باشد. این رفتار بویژه در حالتی که اثر بار مرده در پیش فشردن ناحیه کششی دیوار کافی نمی باشد بسیار حائز اهمیت است [۳]. این اثر مفید، در زمانی رخ می دهد که اختلاف نشست در پایه های زیر دو دیوار ایجاد نشده باشد [۴].

با پیش بینی یک سازه مجزا بین دو دیوار (مانند یک تیر سخت کننده یا خرپا) در بالای ساختمان ممکن است نیروهای محوری دیوارها افزایش یابند. اگر تیر سخت کننده فوقانی، بین دیوارها در تحلیل و طراحی منظور شده باشد، به طور قابل ملاحظه ای می تواند بازده را بالا برده و به کاهش آثار مربوط به تغییر نشست کمک نماید [۴].

برای تخمین آثار حرکت شالوده ها، فرض می شود که دیوارها بر تکیه گاههای الاستیک متکی هستند و چرخش و نشست در آنها به ترتیب بر اثر لنگر و نیروی محوری



شکل (۸): تیر AB و جهات ثبت شیب-افت [delta]

$$\frac{12EI_c}{a^2}(\phi a + u) = V.a \quad (۹)$$

$$\frac{V.a^3}{12EI_c} - \phi a = u \quad (۱۰)$$

اگر ارتفاع هر طبقه، h در نظر گرفته شود، برش هر تیر برابر حاصلضرب شدت برش یکنواخت $q(x)$ در ارتفاع طبقه برای تیرهای میان طبقه خواهد بود. لازم به ذکر است که به دلیل چرخش یکسان و یکنواختی تیرها در ارتفاع دیوار می توان جریان برش در لبه داخلی دیوارها را یکنواخت فرض نمود:

$$V = q(x)h \quad (۱۱)$$

$$u = \frac{qha^3}{12EI_c} - \phi a \quad (۱۲)$$

۶- تحلیل دیوار برشی با یک ردیف باز شو

با توجه به اشکال (۷)، (۸) و (۹)، اگر تغییرمکان نسبی قائم شالوده دیوار $W1$ نسبت به دیوار $W2$ ، δ نامیده شود، در هر مقطع به فاصله X از پایین دیوار، تغییرمکان عمودی دو انتهای تیر اتصال، برابر با تغییرمکان طول نسبی دو دیوار $W1$ و $W2$ بر اثر تغییرمکان نسبی شالوده است. علاوه بر آن، تغییرمکان قائم دیوار $W2$ نسبت به دیوار $W1$ بر اثر چرخش دیوارها، بعلاوه تغییرمکان قائم بر اثر اختلاف نیروهای محوری در دو دیوار برابر رابطه (۱۳) خواهد شد:

$$u = \frac{qha^3}{12EI_c} - \phi a = \frac{qha^3}{12EI_c} - a \left(\frac{dy}{dx} \right) = \frac{qha^3}{12EI_3} - a \frac{dy}{dx} \quad (۱۳)$$

با توجه به شکل (۹) تغییرمکان قائم نسبی بر اثر چرخش دو دیوار برابر است با $\delta_1 + \delta_2$:

$$\delta_1 + \delta_2 = \phi(d_1 + d_2) = \phi(\ell - a) \frac{dy}{dx} \quad (۱۴)$$

$$\frac{M_2}{I_2} = \frac{M_b}{I_1 + I_2} \quad (۴)$$

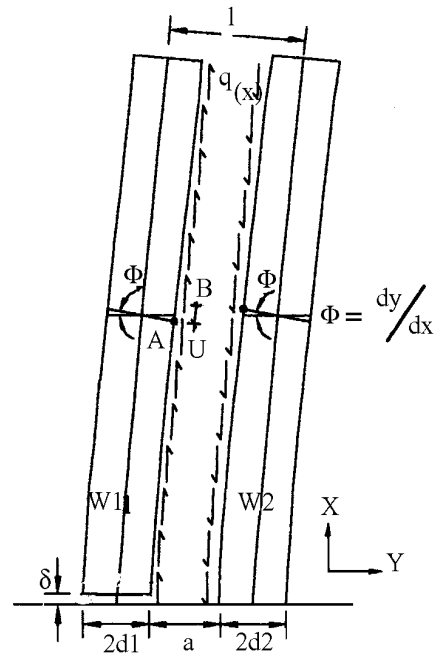
چون $\frac{d\phi}{dx} = \frac{M}{EI}$ و مقدار E ثابت می باشد، $d\phi_1 = d\phi_2$ می شود. به عبارت دیگر، چرخش دو دیوار در مقطعی به فاصله X از پایین دیوار یکسان است و این موضوع به نوع بارگذاری بستگی ندارد.

اگر محدوده ای از دیوار که در آن تیری که نقاط A را به B (شکل ۷) متصل می نماید، بررسی گردد، با توجه به چرخش دیوارها که به عنوان تکیه گاه تیر AB می باشند (شکل ۸) و صلیبت کف، میزان چرخش دو دیوار یکسان می باشد و با استفاده از رابطه شیب افت، می توان نتیجه گرفت:

$$\phi_A = \phi_B = \phi \quad (۵)$$

$$M_{AB} = \frac{6EI_c}{a} \left(-\phi - \frac{u}{a} \right) \quad (۶)$$

$$M_{BA} = \frac{6EI_c}{a} \left(-\phi - \frac{u}{a} \right) \quad (۷)$$



شکل (۷): تغییرمکانهای مختلف دیوار کوبله [delta]

با لنگرگیری حول A ، نیروی برشی (V) به دست می آید:

$$V.a = M_{AB} + M_{BA} = \frac{12EI_c}{a} \left(\phi + \frac{u}{a} \right) \quad (۸)$$

با مشتق گیری از رابطه (۲۰)، رابطه (۲۱) حاصل می گردد:

$$\frac{d^2y}{dx^2} - \left(\frac{ha^3}{12EI_c} \right) \frac{d^2T}{dx^2} - \frac{1}{E} \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) T = 0 \quad (21)$$

اگر لنگر بار خارجی وارده در هر مقطع به فاصله x از پایین دیوار M_e باشد، با توجه به آنکه در هر نقطه مجموع لنگر بار خارجی و لنگر داخلی دیوارها باید برابر صفر گردد، مقدار لنگر M_e با توجه به شکل (۱۰) از رابطه (۲۲) محاسبه می شود:

$$M_e - T\ell = M_1 + M_2 = M_b \quad (22)$$

با توجه به آنکه $\frac{M}{EI} = \frac{d^2y}{dx^2}$ است و بر اساس رابطه (۲۳):

$$\frac{(M_e - T\ell)}{E(I_1 + I_2)} = \frac{d^2y}{dx^2} \quad (23)$$

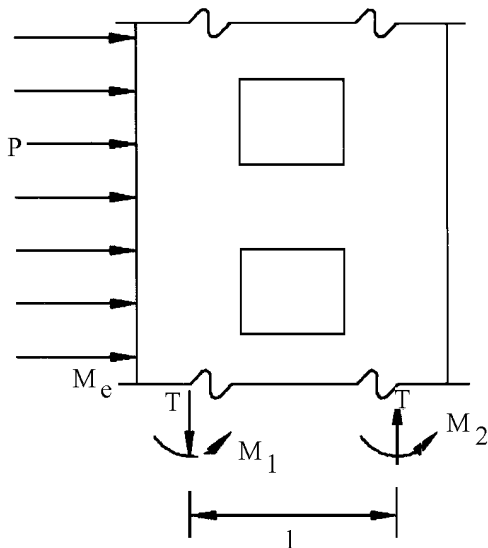
با قرار دادن رابطه (۲۳) در رابطه (۲۱) و تعریف β ، α و γ به صورت روابط (۲۴)، (۲۵) و (۲۶)، رابطه (۲۷) حاصل می شود:

$$\partial\beta = \left(\frac{1}{\ell^2} \right) (I_1 + I_2) \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \left(\frac{\ell}{a} \right) \quad (24)$$

$$\gamma = \frac{12I_c\ell}{(I_1 + I_2)a^3h} \quad (25)$$

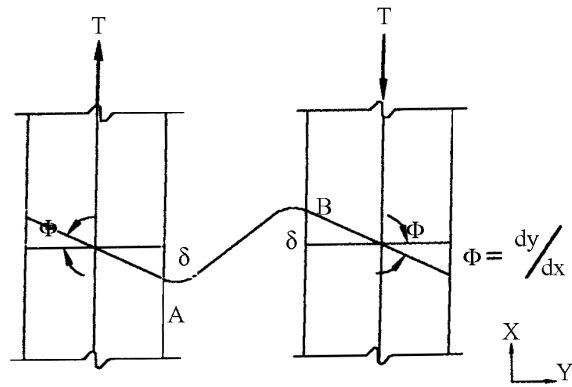
$$\alpha^2 = \gamma(\ell + \partial\beta) \quad (26)$$

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \alpha^2 T = +\gamma M_e \quad (27)$$



شکل (۱۰): لنگر و نیروی محوری در دیوارها

از حل معادله دیفرانسیل مرتبه دوم خطی (۲۷) مقادیر T بر



شکل (۹): تغییر مکانها و نیروهای دیوار در ارتفاع X

با توجه به شکل (۹) اگر نیروی محوری در مقطع مورد نظر برابر T باشد (این نیرو از روی شالوده به بالا متغیر می باشد)، اختلاف طول دو دیوار بر اثر نیروی محوری قابل محاسبه می باشد:

$$\delta_1 = \left(\frac{1}{EA_1} \right) \int_0^x T dx \quad (\text{کشش}) \quad (15)$$

$$\delta_2 = \left(\frac{-1}{EA_2} \right) \int_0^x T dx \quad (\text{فشار}) \quad (16)$$

$$\delta_1 + (-\delta_2) = \frac{1}{E} \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \int_0^x T dx \quad (17)$$

لازم به یادآوری است که نقطه A بر اثر δ و نیروی کششی وارده در جهت مثبت X و بر اثر چرخش در خلاف جهت X حرکت می کند. نقطه B نیز بر اثر نیروی فشاری در خلاف جهت X و چرخش در جهت مثبت X حرکت می نماید. با توجه به مقدار مثبت U در شکل (۸) و با توجه به آنکه تغییر محل های نقاط A و B اگر هم جهت باشند، به صورت تفاضلی عمل خواهند نمود، تغییر طول کل دو نقطه A و B در روی دیوار از رابطه (۱۸) به دست می آید:

$$X_B - X_A = -\delta + (\ell - a) \frac{dy}{dx} - \frac{1}{E} \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \int_0^x T dx \quad (18)$$

حال از تساوی دو رابطه (۱۳) و (۱۸)، رابطه (۱۹) حاصل می شود:

$$-\delta + (\ell - a) \frac{dy}{dx} - \frac{1}{E} \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \int_0^x T dx = \frac{qha^3}{12EI_c} - a \frac{dy}{dx} \quad (19)$$

در رابطه (۱۹)، $q = \frac{dT}{du}$ می باشد و به صورت رابطه (۲۰) قابل تبدیل خواهد بود:

$$-\delta + \ell \frac{dy}{dx} - \left(\frac{ha^3}{12EI_c} \right) \frac{dT}{dx} - \frac{1}{E} \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \int_0^x T dx = 0 \quad (20)$$

از برش یکنواختی با شدت q بر واحد ارتفاع به جای نیروی برشی تیرها استفاده می شود. با برش از محل نقطه عطف تیرها با فواصل a_1 و a_2 ، دو دیوار، مجزا گردیده است (شکل ۱۲). مشابه قبل معادله سازگاری در هر ارتفاع x از سیستم به صورت رابطه (۲۹) به دست می آید:

$$\ell \frac{dy}{dx} - h \frac{(a_1^3 + a_2^3)}{3EI_c} q - \frac{1}{E} \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \left\{ \int_0^x \int_{\eta}^H q(\lambda) d\lambda d\eta + Qx \right\} - \delta = 0 \quad (29)$$

چهار جمله رابطه (۲۹) به ترتیب بستگی دارند به:

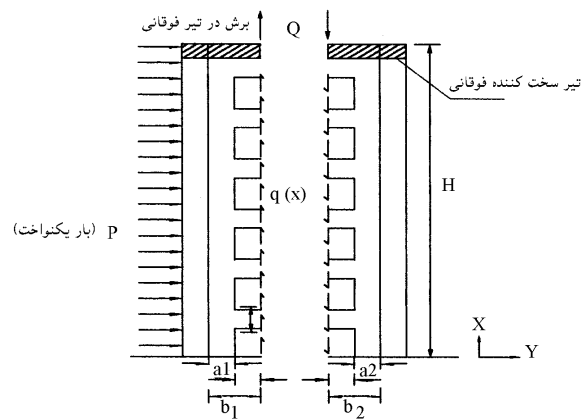
- ۱- تغییر مکان نسبی مربوط به شیبها در دیوارها؛
 - ۲- اثر خمش کنسولی قطعات تیری؛
 - ۳- تغییرشکلهای محور دیوارها؛
 - ۴- لنگر شالوده ها که باعث تغییر مکان نسبی آنها می شود.
- انحنای خمشی در بالای دیوار ($x=H$) به صورت رابطه (۳۰) قابل بیان می باشد:

$$EI \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right)_H = -Q\ell \quad (30)$$

با دیفرانسیل گیری از رابطه (۲۹) و قرار دادن آن در رابطه (۳۰)، رابطه (۳۱) به دست می آید:

$$\frac{dq}{dx} + \alpha^2 \gamma q = 0 \quad (31)$$

فرض شده که دیوارها بر تکیه گاههای الاستیک متکی می باشند و از این رو تغییر مکانهای عمودی و چرخشی به طور مستقیم متناسب با نیروی محوری و لنگر خمشی در پایه دیوار خواهد بود.



شکل (۱۲): سیستم جانشین دیوار کوبله

حسب نیروهای خارجی و X به دست می آید و چون M_e به نوع بارگذاری خارجی بستگی دارد، می توان مقدار آن را برای حالات مختلف بار مشخص نمود. لازم به یادآوری است که حل معادله (۲۷) به صورت رابطه (۲۸) خواهد بود:

$$T = A \sin \alpha x + B \cos \alpha x + \frac{\gamma}{\alpha^2} M_e \quad (28)$$

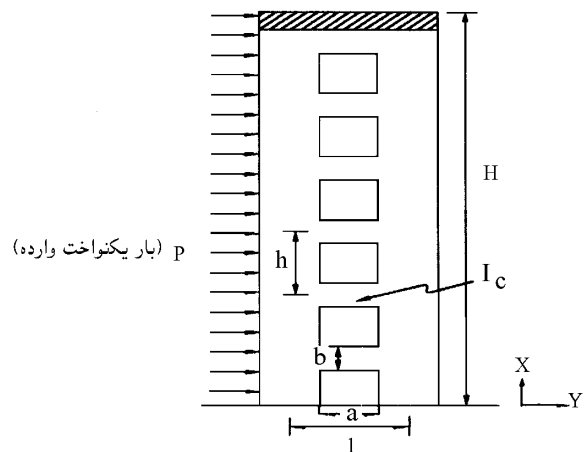
۷- تحلیل دیوار برشی کوبله با تیر سخت کونده فوقانی

در این تحلیل، دیوار برشی کوبله ای که در بالاترین طبقه با یک تیر سخت کونده به یکدیگر متصل شده اند و تحت بار جانبی یکنواختی قرار گرفته اند، مطالعه گردیده است (شکل ۱۱).

برای تحلیل دیوار برشی (شکل ۱۱)، اتصال دو دیوار، ممتد و یکنواخت در نظر گرفته شده، فرضیات زیر برای دستیابی به رابطه ای کاربردی منظور گردیده است:

الف) دو قسمت دیوار کوبله تغییر مکان مساوی داشته (به دلیل وجود کف صلب) و نقطه عطف تیرها در فاصله a_1 از دیوار سمت چپ) در کلیه طبقات ساختمان می باشد. در این حالت نیز فرض شده که نقطه عطف تیر سخت کونده فوقانی نیز مشابه طبقات است.

ب) مجموعه یکنواخت تیرهای اتصالی با لنگر اینرسی I_c به صورت اتصال یکنواخت با سختی $\frac{I_c}{h}$ بر واحد ارتفاع سیستم در نظر گرفته شده که h ارتفاع یک طبقه از ساختمان می باشد.



شکل (۱۱): دیوار برشی کوبله با تیر سخت طبقه بالا

۹- تعیین نیروها و تغییر مکانها

با توجه به ثوابت به دست آمده، توزیع نیروها و تغییر مکانها در سراسر سازه قابل محاسبه می باشد. در هر ارتفاع K ، نیروی محوری هر دیوار بر اساس رابطه (۴۳) قابل محاسبه است:

$$T = \int_x^H q = B_1 \left\{ \frac{1}{\alpha} (\sin h(\alpha H) - \sin h(\alpha x)) + \gamma \cos h(\alpha H) \right\} + B_2 \left\{ \frac{1}{\alpha} (\cos h(\alpha H) - \cos h(\alpha x)) + \gamma \sin \alpha H \right\} + \frac{1}{2} P \frac{\beta^2}{\alpha^2} (H-x)^2 \quad (43)$$

با انتگرال گیری از رابطه (۲۹) و قرار دادن شرایط حدی پایه، تغییر مکان عبارت است از:

$$y = \frac{1}{EI} \left\{ \frac{P}{24} \left[\frac{1}{\alpha} B_1 \left(\frac{\beta^2}{\alpha^2} (6H^2x^2 - 4Hx^3 + x^4) \right) + \frac{1}{\alpha^2} \left(\sin h(\alpha H) + \alpha \gamma \cos h(\alpha H) \right) \left(\sin h(\alpha x) + \frac{1}{\alpha} x \right) - \frac{1}{\alpha^2} B_2 \left(\frac{x^2}{2} (\cos h(\alpha H) + \alpha \gamma \sin h(\alpha H)) - \frac{1}{\alpha^2} \cos h(\alpha x) + \frac{1}{\alpha^2} \right) + \theta \right] \right\} \quad (44)$$

۱۰- مثال عددی

برای نشان دادن افزایش بازده سازه ای، در حالت استفاده از تیر سخت کننده فوقانی، دیوار برشی کوپله بیست طبقه ای با مقطع مطابق شکلهای (۱۳) و (۱۴) مورد بررسی قرار گرفته است. ارتفاع این دیوار ۶۰ متر و ارتفاع هر طبقه سه متر در نظر گرفته شده و توسط تیرهای ارتباطی با اینرسی $1.543 \times 10^{-3} m^4$ (برای مثال تیر به ارتفاع ۱:۳ متر و عرض ۱:۲ متر) در طبقات به یکدیگر متصل شده اند و بار جانبی یکنواخت $1000 kg/m$ بر آن وارد گردیده است. ضریب الاستیسیته بتن $15 \times 10^4 kg/cm^2$ در نظر گرفته شده است.

حالات مورد بررسی عبارتند از:

الف) وجود یا عدم تیر سخت کننده فوقانی به عرض ۰/۴ و ارتفاع ۲ متر در بالاترین تراز دیوار همراه با سایر تیرهای اتصال دهنده به عرض ۰/۴ و ارتفاع ۰/۳ متر در طبقات؛

برای حرکت‌های قائم، تغییر مکان (δ) متناسب با نیروی محوری (T_0) در پایه می باشد که با رابطه (۳۲) بیان می شود:

$$\delta = \frac{T_0}{K_{v1}} + \frac{T_0}{K_{v2}} \quad (32)$$

در رابطه (۳۲)، K_{v1} و K_{v2} به ترتیب سختی شالوده دیوارهای W_1 و W_2 می باشند. در نهایت، نیروی محوری در پایه هر دیوار از رابطه (۳۳) به دست می آید:

$$T_0 = B_1 \left[\gamma \cos h(\alpha H) + \frac{1}{\alpha} \sinh(\alpha H) \right] + B_2 \left[\lambda \sin h(\alpha H) + \frac{1}{\alpha} (\cos h(\alpha H) - 1) \right] + P \frac{\beta^2}{\alpha^2} \cdot \frac{H^2}{2} \quad (33)$$

در رابطه (۳۳)، ثوابت انتگرال عبارتند از:

$$B_1 = \frac{1}{\Delta_1} P \frac{\beta^2}{\alpha^2} \left\{ \left(D + \frac{H^2}{2} C - H \right) \Delta_2 + C \right\} \quad (34)$$

$$B_2 = \frac{1}{\Delta_2} \left\{ P \frac{\beta^2}{\alpha^2} - B_1 \left(\alpha \sin h(\alpha H) + \alpha^2 \gamma \cos h(\alpha H) \right) \right\} \quad (35)$$

که در آن:

$$\Delta_1 = \Delta_2 - C (\sin h(\alpha H) + \alpha \gamma \cos h(\alpha H)) \quad (36)$$

$$C = -\frac{EI}{\ell} \beta^2 \left(\frac{1}{K_x} + \frac{\ell^2}{K_\theta} \right) \quad (37)$$

$$D = \frac{EI H^2 \alpha^2}{2 K_\theta} \quad (38)$$

$$D = \frac{EI H^2 \alpha^2}{2 K_\theta} \quad (39)$$

۸- بررسی دیوار برشی کوپله بر روی شالوده صلب

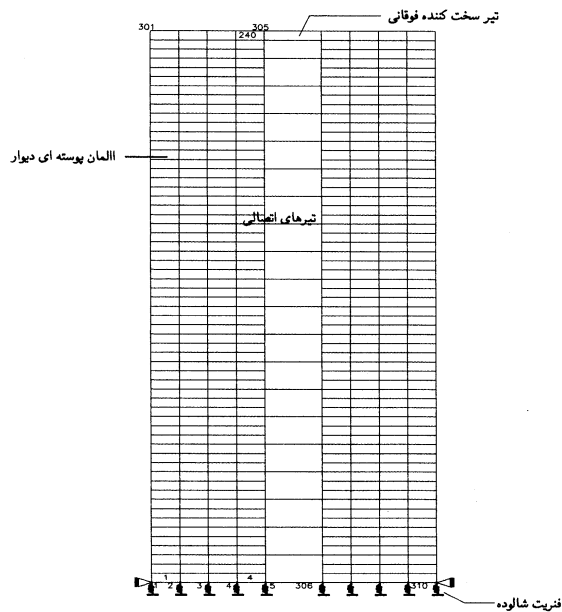
در حالت خاص شالوده صلب، هر دو مقدار K_v و K_θ بی نهایت خواهند شد؛ زیرا، $D=0$ ، $C=0$ ، $\Delta_1 = \Delta_2$ می شوند و در این صورت، ثوابت انتگرال به صورت روابط (۴۱) و (۴۲) می گردند:

$$B_1 = -P \frac{\beta^2}{\alpha^2} H \quad (40)$$

$$B_2 = P \frac{\beta^2}{\alpha^2} \left\{ \frac{1 + H(\alpha H) + \alpha^2 \gamma \cos h(\alpha H)}{\alpha \cos h(\alpha H) + \alpha^2 \gamma \sin h(\alpha H)} \right\} \quad (41)$$

نیروی برشی (Q) در تیر فوقانی به صورت رابطه ساده شده (۴۲) خواهد شد:

$$Q = P \frac{\beta^2}{\alpha^2} \frac{\gamma}{\Delta^2} (\sin h(\alpha H) - \alpha H) \quad (42)$$

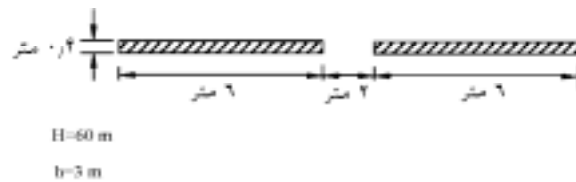


شکل (۱۴): دیوار برشی کوبله با مدل پوسته

- کاهش سختی شالوده، تأثیر تیر فوقانی را در کاهش تغییرمکان، کنترل می نماید.

۱۲- مراجع

- 1-Stafford Smith, B., Kuster, M. & Hoender Kamp, J.C.D, (1981), "A Generalized Approach to the Deflection Analysis of Braced Frame, Rigid Frame and Coupled Wall Structures", Can. J. Civ. Engineer, Vol. 8, June 1981.
- 2-Stafford Smith, B., & Girgis, A, "Simple Analogous Frames for Shear Wall Analysis", ASCE J. Struct. Engineer, Vol. 110, November 1984.
- ۳- طاهری بهبهانی، علی اصغر. "روش آنالیز دیوارهای برشی کوبله"، نشریه شماره ۲۲، انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان، ۱۳۶۱.
- 4-Coull, A, 1974, "Stiffening of Coupled Shear Walls Against Foundation Movement", The Structural Engineer, Vol. 52 Number 1, January 1974.
- 5-Coull, A. and Mukherjee. P. R, (1974), "Coupled Shear Walls With General Support Conditions", Proc. of Conference on Tall Building, Kuala Lumpur".
- ۶- ناطقی الهی، فریبرز؛ زندپارسا، کیومرث، "محل بهینه کمربندهای خرابی"، تهران: مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷۵. ▶



شکل (۱۳): مقطع دیوار برشی کوبله

ب) امکان یا عدم امکان چرخش شالوده، با در نظر گرفتن فنریت قائم $K_v = 5 \times 10^6 \text{ k/m}$ [۵] (سختی چرخشی شالوده بی نهایت فرض شده است).

بررسی دقیقتر دیوار برشی کوبله به روش تحلیل پوسته ای انجام گرفته است. کل این مجموعه شامل ۶۱۰ گره، ۴۸۰ عضو پوسته و ۲۰ عضو که ۱۹ عدد آن تیرهای بین دو دیوار و عضو شماره ۴۸۹ تیر سخت کننده فوقانی می باشد. نتایج به دست آمده به صورت جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): نتایج دیوار برشی کوبله (تحلیل پوسته)

سختی شالوده (K_v) k/m	تیر فوقانی	حداکثر تغییرمکان $\times 10^{-4}$ متر	درصد کاهش تغییرمکان
بی نهایت	مشابه طبقات	۳۶۲	$\frac{۳۶۲-۳۶۲}{۳۶۲} = ۰$
بی نهایت	قوی	۳۱۸	$\frac{۳۶۲-۳۱۸}{۳۶۲} = ۱۲$
۵×10^{-4}	مشابه طبقات	۱۱۱۰	$\frac{۱۱۱۰-۱۱۱۰}{۱۱۱۰} = ۰$
۵×10^{-6}	قوی	۱۰۶۰	$\frac{۱۱۱۰-۱۰۶۰}{۱۱۱۰} = ۵$

۱۱- نتیجه گیری

با توجه به تحلیل انجام گرفته و ارائه روابط جهت حل دستی دیوارهای کوبله با و بدون تیر سخت کننده فوقانی، کارایی آن در بازدهی دیوار برشی کوبله مشخص گردید. اهم نتایج تحلیل کامپیوتری دیوار کوبله با و بدون تیر سخت کننده فوقانی و چرخش شالوده، عبارتند از:

- با فرض صلب بودن شالوده، تیر فوقانی حدود ۱۲٪ کاهش در تغییرمکان حداکثر به وجود آورده است؛
- با فرض غیرصلب بودن شالوده، تیر فوقانی حدود ۵٪ کاهش در تغییرمکان حداکثر به وجود آورده است؛