

## پایداری دیوار برشی کوپل سخت شده

محمد جواد فدائی

استاد یاربخش مهندسی عمران - دانشگاه شهید باهنر کرمان

حامد صفاری

استاد یاربخش مهندسی عمران - دانشگاه شهید باهنر کرمان

حسین خسروی\*

کارشناس ارشد سازه و عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

(تاریخ دریافت ۸۴/۲/۲۴، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۴/۱۱/۱۲، تاریخ تصویب ۸۵/۱/۲۶)

### چکیده

در بسیاری از ساختمانهای بلند سهمی از بارهای جانبی توسط دیوار برشی تحمل می گردد. این دیوارها معمولاً دارای بازشوهایی جهت درپها و پنجره ها می باشند. جهت بکارگیری عملکرد متقابل دیوارهای دو سمت بازشوها، آنها با تیر رابطی به هم وصل و دیوار برشی کوپل تشکیل می گردد. در بسیاری موارد ممکن است به علت کم بودن ارتفاع تیرهای رابط، سختی لازم جهت مقابله با بارهای جانبی ایجاد نشود. جهت افزایش توانایی دیوار تیرهایی با سختی زیاد در ترازهای ارتفاعی خاص افزوده می شود و تشکیل دیوار برشی کوپل سخت شده را می دهد. این دیوارها تحت اثر بارهای محوری ناشی از وزن قرار می گیرند و به علت ارتفاع زیاد شان، اثر نیروی محوری بر رفتار آنها تأثیر می گذارد. در این مقاله یک فرمول بندی ساده جهت تعیین بار بحرانی دیوار برشی کوپل سخت شده، تحت اثر نیروهای گرانشی با استفاده از فرضیات محیط پیوسته پیشنهاد و مثالهایی با استفاده از این روش حل گردیده است. نتایج آن با نتایج حاصل از مدلسازی توسط نرم افزار ANSYS مقایسه و دقت و کارایی روش فوق نشان داده شده است. در ادامه اثرات سختی و تغییر موقعیت تیر سخت کننده در بار کماتشی گرانشی دیوار برشی کوپل سخت شده، مورد بررسی قرار گرفته است.

**واژه های کلیدی:** بار کماتشی گرانشی - دیوار برشی کوپل سخت شده - روش انرژی - محیط پیوسته - تیر سخت

کننده

### مقدمه

امروزه بلند مرتبه سازی به جهت سیاستهای مبتنی بر رشد جمعیت، سرویس دهی و خدمات شهری مورد توجه خاص قرار گرفته است، به گونه ای که بررسی و مطالعات سیستمهای مختلف سازه ای به منظور تأمین نیازهای فنی و اقتصادی بیش از پیش ضروری به نظر می رسد. از عوامل اصلی در طراحی عناصر ساختمانهای بلند، تأمین مقاومت و سختی کافی برای مقابله با نیروهای جانبی بوجودآمده توسط باد و زلزله می باشد. یکی از راههای تأمین سختی و مقاومت، استفاده از دیواربرشی کوپل می باشد. وجود تیرهای اتصال باعث افزایش سختی جانبی و کاهش تنشها در دیوار می گردد و هرچه سختی تیرهای اتصال بیشتر باشد، سهم نیروهای محوری دیوارها در تحمل بار جانبی اعمالی افزایش می یابد واز لنگر خمشی دیوارها کاسته می شود. در بسیاری از موارد

ممکن است سختی لازم جهت مقابله با بارهای جانبی ایجاد نشود. جهت حل این مشکل از تیر سخت کننده داخلی، دریک یا چند تراز در ارتفاع سازه استفاده می گردد. حضور تیر سخت کننده باعث افزایش سختی و کاهش لنگرهای خمشی در هر یک از دیوارها به میزان قابل توجهی می گردد. از آنجا که معمولاً تیرهای سخت کننده به صورت منظم در ارتفاع دیوار قرار می گیرند، با توجه به هندسه منظم و تعداد زیاد طبقات، جهت تحلیل اولیه این دیوارها از روش محیط پیوسته استفاده می شود. در روش محیط پیوسته فرض می شود که تمامی اعضاء اتصالی افقی، یک محیط اتصالی پیوسته بین اعضای قائم دیوار ایجاد کرده و بدین وسیله ساده سازی انجام می شود. نتیجه ساده سازی، تبدیل یک سازه دو بعدی به یک سازه یک بعدی که تمام نیروهای

بررسی شده است. بررسی ارتعاشات دیواربرشی کوپل و دیواربرشی کوپل سخت شده در حالت خطی با تغییرات پله ای در عرض دیوار با استفاده از روش محیط پیوسته در مراجع [۱۴، ۱۵] آمده است. در مقاله حاضر با استفاده از روش محیط پیوسته روشی جهت محاسبه بار بحرانی دیوار، ناشی از بار محوری گسترده یکنواخت بر روی دیوارهای برشی کوپل سخت شده ارائه گردیده است. در این روش اثرات نیروی محوری در تغییر شکل‌های جانبی منظور شده است و فرمول بندی برای تعیین بار کمناشی دیوار برشی کوپل سخت شده تحت بارگذاری ثقلی ارائه شده است. بدین صورت که ابتدا با نوشتن معادلات تعادل و روابط لنگر- انحناء برای تک تک دیوارها و حذف جریان برشی از روابط، معادله حاکم بر تغییر شکل دیوار برشی کوپل سخت شده بدست آمده است. در معادله حاکم اثر تیرسخت کننده لحاظ شده است. حل دقیق معادله دیفرانسیل حاکم بسیار دشوار است، بنابراین جهت حل آن از روش انرژی استفاده شده است. در این روش ابتدا تابع شکل سازگار با شرایط مرزی انتخاب و سپس انرژی پتانسیل کل سیستم محاسبه و با کمینه کردن آن نسبت به ضرایب مجهول، معادله تغییر شکل دیوار برشی کوپل سخت شده بدست آمده است. از صفرکردن دترمینان ضرایب معادلات حاصل از کمینه سازی، بار بحرانی دیوار برشی کوپل سخت شده بدست آمده است. دقت و کارایی روش ارائه شده با نتایج حاصل از مدلسازی توسط نرم افزار ANSYS مقایسه شده است. از توانایی های این روش در مقایسه با سایر روشهای تقریبی، توانایی تحلیل غیر خطی دیوار برشی کوپل سخت شده و در مقایسه با روشهای اجزاء محدود سرعت و کارایی بالا، ضمن داشتن دقت قابل قبول می باشد. در نهایت با حل مثالهای عددی، اثرات سختی و تغییر موقعیت تیر سخت کننده بر بار بحرانی دیوار برشی کوپل سخت شده مورد بررسی قرار گرفته است.

## مدلسازی و معادلات دیفرانسیل حاکم بر تعادل

با توجه به سختی زیاد درون صفحه ای کف ها، فرض می شود که تیرهای اتصال هیچ تغییر شکل محوری نداشته باشند. بدین ترتیب هر دو دیوار برشی دارای

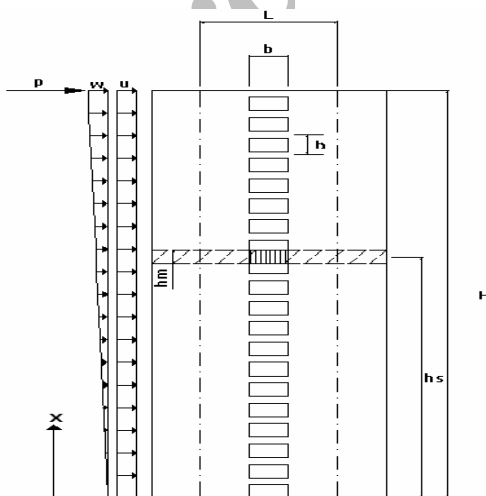
اصلی آن وابسته به مختصات ارتفاعی هستند، خواهد بود. مرجع [۱] به بررسی تأثیر موقعیت وسختی دو تیر سخت کننده میانی بر رفتار خطی دیوار برشی کوپل سخت شده که بر روی تکیه گاه صلب و انعطاف پذیر قرار گرفته، پرداخته است. نتایج عددی نشان داده است که عملکرد سازه به طور قابل ملاحظه ای با اضافه کردن تیر سخت کننده بهبود می یابد [۲، ۳، ۴]. در مرجع [۵] روشی برای تحلیل دیوار برشی کوپل با چهار تیر سخت کننده ارائه شده است. افزایش ارتفاع و بازدهی روز افزون ساختمانهای بلند، موجب شده است که مطالعات بیشتری در رابطه با سختی و پایداری آنها لازم گردد. تغییر شکل جانبی سازه های بلند تحت اثر بارهای جانبی با افزایش نیروی محوری زیاد می شود. اکنون کنترل اثرات ناشی از نیروی محوری، یکی از موارد مهم در مراحل طراحی است. در مرجع [۶] سازه دیوار برشی کوپل ابتدا به دو دیوار برشی مجزا تفکیک و سپس با اعمال شرایط مرزی ماتریس سختی کل سیستم ارائه شده است. به این ترتیب تحلیل دیوار برشی کوپل با خصوصیات ثابت در ارتفاع، به حل یک معادله دیفرانسیل خطی با ضرایب ثابت ختم شده است و نتایج بار بحرانی، برای دامنه محدودی از پارامترهای سختی برای دیوار برشی کوپل ارائه شده است. در مرجع [۷] حد بالای بارهای بحرانی برای دامنه وسیعی از پارامترهای جمع آوری شده محاسبه شده است. تحلیل غیر خطی دیوارهای برشی بتنی با در نظر گرفتن ترک خوردگی بتن و تسلیم شدن فولاد در مرجع [۸] بررسی گردیده است. آنالیز غیر خطی مصالح دیوارهای برشی کوپل با مدلسازی اجزاء محدود در مرجع [۹] مطرح گردیده است. تحلیل دینامیکی غیر خطی دیوار برشی کوپل سخت شده در مرجع [۱۰] آمده است. در این مراجع [۸، ۹، ۱۰] از روش اجزاء محدود برای مدلسازی استفاده شده که شامل المان بندی زیاد و درجات آزادی بالا می باشد. در مرجع [۱۱] موقعیت بهینه مهار بازویی به همراه تیر سخت کننده داخلی در دیوار برشی کوپل با استفاده از روش محیط پیوسته محاسبه شده است. در مرجع [۱۲] اثرات انعطاف پذیری اتصال تیرهای رابط و سخت کننده بر رفتار دیوار برشی کوپل سخت شده با تغییرات پله ای در عرض دیوار با استفاده از روش محیط پیوسته بررسی گردیده است. در مرجع [۱۳] رفتار ارتعاشی پیچشی سازه های با دیوار برشی کوپل متقارن

**ج: در محل تیر سخت کننده:**

$$L \frac{dy}{dx} - \frac{Q_s b^3 B_2}{12 E_s I_s} - \frac{1}{E} \left[ \int_0^{hs} \frac{T_{b1}}{A_1} dx + \int_0^{hs} \frac{T_{b2}}{A_2} dx \right] = 0 \quad (3)$$

در روابط (۱) تا (۳)  $q_b, y_b, q_a, y_a$  به ترتیب تغییر مکان جانبی دیوار و جریان برشی ناشی از تیر رابط در مقاطع بالا و پائین تیر سخت کننده،  $T_{a2}, T_{a1}$  نیروی محوری دیوارهای چپ و راست در مقاطع بالای تیر سخت کننده،  $T_{b2}, T_{b1}$  نیروی محوری دیوارهای چپ و راست در مقاطع پائین تیر سخت کننده،  $L$  فاصله مرکز تا مرکز دیوارهای برشی کوپل سخت شده،  $b$  دهانه خالص تیرهای اتصال،  $E$  مدول الاستیسیته،  $A_1, A_2, I_1, I_2$  به ترتیب سطح مقطع و ممان اینرسی دیوارهای چپ و راست می باشند و  $B_1$  و  $B_2$  به ترتیب اثرات تغییر شکل‌های برشی در تیرهای اتصال و تیر سخت کننده هستند که توسط روابط زیر تعریف می شوند

$$B_1 = 1 + \frac{12 E I_b k}{G A_b b^2} \quad \text{و} \quad B_2 = 1 + \frac{12 E_s I_s k}{G A_s b^2} \quad (4)$$



شکل ۱: دیوار برشی کوپل سخت شده.

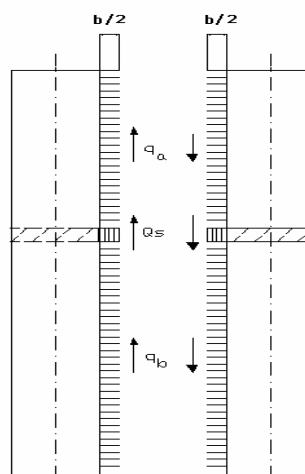
تغییر مکان جانبی و انحناء یکسانی در تمام ارتفاع خواهند بود. نمونه ای از سیستم دیوار برشی کوپل سخت شده در شکل (۱) نشان داده شده است. در این شکل تیر سخت کننده در ارتفاع  $h_s$  قرار گرفته و سایر مشخصات و پارامترهای دیوار نیز نشان داده شده است. با استفاده از روش محیط اتصالی پیوسته، تیرهای رابط با یک محیط پیوسته گسترده جایگزین می شوند شکل (۲). همچنین فرض شده است که نقاط عطف تیرهای رابط، در وسط دهانه اتفاق می افتد، به این ترتیب تغییر مکان قائم وسط تیر رابط صفر است. بنابراین با جمع تغییر مکان نقطه میانی تیر رابط، معادلات زیر حاصل می گردد:

**الف: در مقطع بالا تیر سخت کننده شکل (۳):**

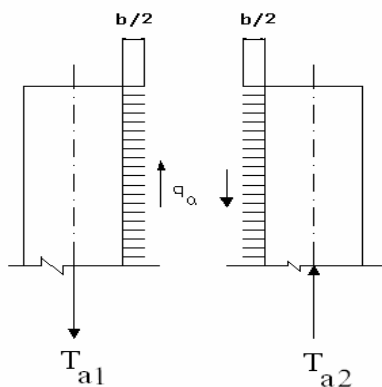
$$L \frac{dy_a}{dx} - \frac{h b^3 B_1}{12 E I_b} q_a - \frac{1}{E} \left[ \int_{hs}^x \frac{T_{a1}}{A_1} dx + \int_{hs}^x \frac{T_{a2}}{A_2} dx + \int_0^{hs} \frac{T_{b1}}{A_1} dx + \int_0^{hs} \frac{T_{b2}}{A_2} dx \right] = 0 \quad (1)$$

**ب: در مقطع پائین تیر سخت کننده شکل (۴):**

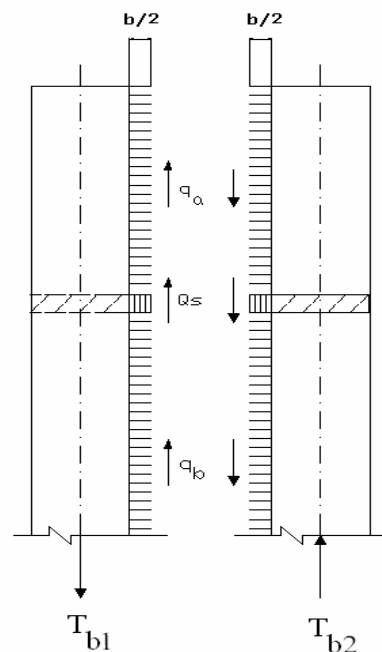
$$L \frac{dy_b}{dx} - \frac{h b^3 B_1}{12 E I_b} q_b - \frac{1}{E} \left[ \int_0^x \frac{T_{b1}}{A_1} dx + \int_0^x \frac{T_{b2}}{A_2} dx \right] = 0 \quad (2)$$



شکل ۲: سازه جایگزین شده.



شکل ۳: مقطع به فاصله x در بالای تیر سخت کننده.



شکل ۴: مقطع به فاصله x در پایین تیر سخت کننده.

ب: برای مقاطع پایین تیر سخت کننده:

$$T_{b1} = \int_{hs}^H q_a dz + Q_s + \int_x^{hs} q_b dz - \int_{hs}^H P_a dz - \int_x^{hs} p_b dz \quad (Y)$$

$$T_{b2} = \int_{hs}^H q_a dz + Q_s + \int_x^{hs} q_b dz + \int_{hs}^H P_a dz + \int_x^{hs} p_b dz \quad (A)$$

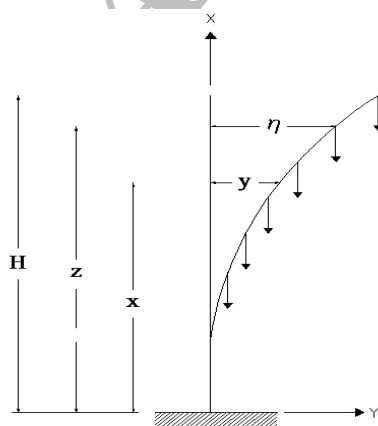
در روابط (Y) و (A) نیروی برشی ناشی از تیر سخت کننده می باشد و  $p_b, P_a$  بارگسترده یکنواخت گرانشی در بالا وپائین تیر سخت کننده می باشند.

در روابط (۴) ضریب شکل برشی مقطع،  $G$  مدول برشی بتن،  $I_s, I_b$  به ترتیب ممان اینرسی تیر رابط و تیر سخت کننده و  $A_s, A_b$  به ترتیب سطح مقطع تیر رابط و سطح مقطع تیر سخت کننده می باشند. سه جمله متوالی رابطه (۱) به ترتیب تغییر مکان قائم نقطه میانی تیر رابط ناشی از چرخش مقطع دیوار در اثر خمش، تغییر شکل خمشی و برشی تیرهای اتصال در اثر اعمال جریان برشی و تغییر شکل محوری دیوارها در اثر نیروی محوری می باشند. با نوشتن معادلات تعادل نیرو در راستای محور طولی دیوارها، روابط زیر جهت محاسبه نیروی محوری تک تک دیوارها در مقاطع مختلف حاصل می گردند.

الف: برای مقاطع بالای تیر سخت کننده :

$$T_{a1} = \int_X^H q_a dz - \int_X^H P_a dz \quad (5)$$

$$T_{a2} = \int_X^H q_a dz + \int_X^H P_a dz \quad (6)$$



شکل ۵: اثر بار گسترده یکنواخت گرانشی در سازه [ ۱۶ ].

$$T_{b2} = \left[ \int_{hs}^H P_a dz + \int_x^{hs} p_b dz \right] + \frac{2}{L}$$

$$\left[ \int_{hs}^H p_a (\eta_a - y_b) dz + \int_x^{hs} P_b (\eta_b - y_b) dz \right]$$

$$-\frac{EI}{L} \frac{d^2 y_b}{dx^2} + \frac{Me}{L}$$

(۱۵)

### معادله حاکم بر کمناش دیوار برشی کوپل سخت شده با استفاده از روش انرژی

به سبب پیچیدگی معادلات دیفرانسیل حاکم بر تغییر شکل دیوار، جهت محاسبه تغییر شکل از روش انرژی استفاده شده و تابع شکل زیر برای تغییر شکل بالا و پائین دیوار معرفی می‌گردد.

$$y_a = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4 \quad (۱۶)$$

$$y_b = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3 + b_4 x^4 \quad (۱۷)$$

در روابط (۱۶) و (۱۷) مقادیر  $a_4, a_3, a_2, a_1, a_0$  و  $b_4, b_3, b_2, b_1, b_0$  به قسمی تعیین می‌گردد که شرایط مرزی هندسی را ارضاء نماید. شرایط مرزی به صورت زیر می‌باشند:

$$y_b|_{x=0}, \frac{dy_b}{dx}|_{x=0} = 0 \quad (۱۸)$$

$$y_a|_{x=hs} = y_b|_{x=hs}, \frac{dy_a}{dx}|_{x=hs} = \frac{dy_b}{dx}|_{x=hs} \quad (۱۹)$$

$$EI \frac{d^2 y_a}{dx^2}|_{x=hs} = EI \frac{d^2 y_b}{dx^2}|_{x=hs} \quad (۲۰)$$

$$EI \frac{d^3 y_a}{dx^3}|_{x=hs} + p \frac{dy_a}{dx}|_{x=hs} = EI \frac{d^3 y_b}{dx^3}|_{x=hs} + p \frac{dy_b}{dx}|_{x=hs} \quad (۲۱)$$

$$EI \frac{d^2 y_a}{dx^2}|_{x=H} = 0 \quad (۲۲)$$

$$EI \frac{d^3 y_a}{dx^3}|_{x=H} + p \frac{dy_a}{dx}|_{x=H} = 0 \quad (۲۳)$$

با توجه به شکل (۵) و مرتبط ساختن آن با اشکال (۱) تا (۴) روابط لنگر- انحناء در موقعیت  $X$  توسط معادلات زیر حاصل می‌گردند:

$$EI \frac{d^2 y_a}{dx^2} = Me - L \int_x^H q_a dz + 2 \int_x^H P_a (\eta_a - y_a) dz \quad (۹)$$

$$hs \leq x \leq H$$

$$EI \frac{d^2 y_b}{dx^2} = Me - L \left[ \int_{hs}^H q_a dz + \int_x^{hs} q_b dz + Q_s \right] + 2 \left[ \int_{hs}^H P_a (\eta_a - y_b) dz + \int_x^{hs} p_b (\eta_b - y_b) dz \right] \quad (۱۰)$$

$$0 \leq x \leq hs$$

در روابط (۹) و (۱۰) لنگر حاصل از بارگذاری خارجی می‌باشد، که مقدار آن در اثر اعمال بار گسترده یکنواخت ( $u$ )، بار گسترده مثلثی با حداکثر مقدار ( $w$ ) در بالای سازه و بار متمرکز ( $p$ ) در بالای سازه از رابطه (۱۱) بدست می‌آید:

$$Me = \frac{u}{2} (H-x)^2 + \frac{w}{6H} (2H^3 - 3H^2 x + x^3) + p(H-x) \quad (۱۱)$$

با قرار دادن معادلات (۹) و (۱۰) در معادلات (۵) تا (۸) نیروهای محوری در دیوارها از روابط زیر بدست می‌آیند:

$$T_{a1} = - \int_x^H p_a dz + \frac{2}{L} \int_x^H P_a (\eta_a - y_a) dz - \frac{EI}{L} \frac{d^2 y_a}{dx^2} + \frac{Me}{L} \quad (۱۲)$$

$$T_{a2} = + \int_x^H p_a dz + \frac{2}{L} \int_x^H P_a (\eta_a - y_a) dz - \frac{EI}{L} \frac{d^2 y_a}{dx^2} + \frac{Me}{L} \quad (۱۳)$$

$$T_{b1} = - \left[ \int_{hs}^H P_a dz + \int_x^{hs} p_b dz \right] + \frac{2}{L} \left[ \int_{hs}^H p_a (\eta_a - y_b) dz + \int_x^{hs} P_b (\eta_b - y_b) dz \right] - \frac{EI}{L} \frac{d^2 y_b}{dx^2} + \frac{Me}{L} \quad (۱۴)$$

$$q_a = 2E\mu_1 \left[ L \frac{dy_a}{dx} - \frac{1}{E} \left[ \int_{hs}^x \frac{T_{a1}}{A_1} dx + \int_{hs}^x \frac{T_{a2}}{A_2} dx + \int_0^{hs} \frac{T_{b1}}{A_1} dx + \int_0^{hs} \frac{T_{b2}}{A_2} dx \right] \right] \quad (30)$$

و سپس با جانشینی رابطه (۳۰) در رابطه (۲۸)، انرژی کرنشی در تیرهای رابط بالای تیر سخت کننده بدست می آید.

$$u_a = E\mu_1 \int_{hs}^H \left[ L \frac{dy_a}{dx} - \frac{1}{E} \left[ \int_{hs}^x \frac{T_{a1}}{A_1} dx + \int_{hs}^x \frac{T_{a2}}{A_2} dx + \int_0^{hs} \frac{T_{b1}}{A_1} dx + \int_0^{hs} \frac{T_{b2}}{A_2} dx \right] \right]^2 dx \quad (31)$$

**انرژی کرنشی در تیرهای رابط پائین تیر سخت کننده**

$$u_b = \int_0^{hs} \frac{q_b^2 dx}{4E\mu_1} \quad (32)$$

با حل معادله (۲) بر حسب  $q_b$  رابطه زیر بدست می آید.

$$q_b = 2E\mu_1 \left[ L \frac{dy_b}{dx} - \frac{1}{E} \left[ \int_0^x \frac{T_{b1}}{A_1} dx + \int_0^x \frac{T_{b2}}{A_2} dx \right] \right] \quad (33)$$

و سپس با جانشینی رابطه (۳۳) در رابطه (۳۲)، انرژی کرنشی در تیرهای رابط پائین تیر سخت کننده بدست می آید.

$$u_b = E\mu_1 \int_0^{hs} \left[ L \frac{dy_b}{dx} - \frac{1}{E} \left[ \int_0^x \frac{T_{b1}}{A_1} dx + \int_0^x \frac{T_{b2}}{A_2} dx \right] \right]^2 dx \quad (34)$$

**انرژی کرنشی در تیرسخت کننده**

$$u_s = \frac{Q^2 s}{4E_s \mu_2} \quad (35)$$

با قرار دادن شرایط مرزی درمعادلات (۱۶) و (۱۷) معادلات  $y_b$  و  $y_a$  بدست می آیند:

$$y_a = a_4 hs^4 - b_4 hs^4 + (-4a_4 hs^3 + 4b_4 hs^3)x + 6a_4 H^2 x^2 - 4a_4 Hx^3 + a_4 x^4 \quad (24)$$

$$y_b = (6a_4 H^2 - 6a_4 hs^2 + 6b_4 hs^2)x^2 + (-4a_4 H + 4a_4 hs - 4b_4 hs)x^3 + b_4 x^4 \quad (25)$$

انرژی بخشهای مختلف از طریق روابط زیر قابل محاسبه می باشند.

**انرژی کرنشی خمشی در دیوارها**

$$u_1 = \int_0^{hs} \frac{EI}{2} \left( \frac{d^2 y_b}{dx^2} \right)^2 dx + \int_{hs}^H \frac{EI}{2} \left( \frac{d^2 y_a}{dx^2} \right)^2 dx \quad (26)$$

**انرژی کرنشی مربوط به تغییر شکل های محوری دیوارها**

$$u_2 = \frac{1}{2E} \int_{hs}^H \left( \frac{T_{a1}^2}{A_1} + \frac{T_{a2}^2}{A_2} \right) dx + \frac{1}{2E} \int_0^{hs} \left( \frac{T_{b1}^2}{A_1} + \frac{T_{b2}^2}{A_2} \right) dx \quad (27)$$

**انرژی کرنشی در تیرهای رابط بالای تیر سخت کننده**

$$u_a = \int_{hs}^H \frac{q_a^2 dx}{4E\mu_1} \quad (28)$$

بطوریکه  $\mu_1$  توسط رابطه (۲۹) تعریف می شود:

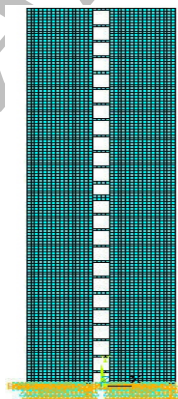
$$\mu_1 = \frac{6I_b}{hb^3 B_1} \quad (29)$$

با حل معادله (۱) بر حسب  $q_a$  رابطه زیر بدست می آید.

جایگذاری آنها در معادلات (۲۴) و (۲۵)، معادله حاکم بر تغییر مکان دیوار برشی کوپل سخت شده بدست آمده است و در نهایت با صفر کردن دتر مینان ضرایب معادلات حاصل از کمینه سازی، بار بحرانی گسترده یکنواخت برای دیوار برشی کوپل سخت شده بدست آمده است.

### مطالعات عددی

برای مدل سازی سازه از المان ۴ گره ای shell 63 استفاده شده است تا بتوان رفتار خمشی و غشایی را با هم در حل مسئله دخالت داد. این المان ۳ بعدی و هر گره این المان دارای ۶ درجه آزادی انتقالی و چرخشی می باشد. نمونه ای از مش بندی دیوار برشی کوپل سخت شده در شکل (۶) نشان داده شده است. نمونه دیوار برشی کوپل سخت شده مطابق شکل (۷) برای یک سازه ۲۴ طبقه مورد بررسی قرار گرفته است. ضخامت دیوار ثابت و ۰/۲ متر می باشد. تیر سخت کننده در موقعیت  $\frac{H}{3}$  یا  $\frac{H}{2}$  یا  $\frac{2}{3}H$  قرار گرفته است.  $h_m$  ارتفاع تیرسخت کننده و مدول الاستیسیته بتن  $2 \times 10^6 \frac{t}{m^2}$  می باشد. با ثابت در نظر گرفتن موقعیت تیر سخت کننده و با تغییر دادن مقادیر ارتفاع تیر سخت کننده، تأثیر ارتفاع تیر سخت کننده در بار کمانشی گرانشی سازه مورد بررسی قرار گرفته است. سپس با تغییر موقعیت تیر سخت کننده تأثیر آن بر بار کمانشی گرانشی سازه بررسی شده است و بهترین موقعیت تیر سخت کننده بدست آمده است.



شکل ۶: مش بندی دیوار برشی کوپل سخت شده. برای (  $H = 67.2 \text{ m}$ ,  $h_s = 33.6 \text{ m}$ ,  $h_m = 1 \text{ m}$  )

با حل معادله (۳) بر حسب  $Q_s$  رابطه زیر بدست می آید.

$$Q_s = 2E_s \mu_2 \left[ L \frac{dy_b}{dx} \Big|_{x=hs} - \frac{1}{E} \left[ \int_0^{hs} \frac{T_{b1}}{A_1} dx + \int_0^{hs} \frac{T_{b2}}{A_2} dx \right] \right] \quad (36)$$

و سپس با جانشینی رابطه (۳۶) در رابطه (۳۵)، انرژی کرنشی در تیرسخت کننده بدست می آید.

$$u_s = E_s \mu_2 \left[ L \frac{dy_b}{dx} \Big|_{x=hs} - \frac{1}{E} \left[ \int_0^{hs} \frac{T_{b1}}{A_1} dx + \int_0^{hs} \frac{T_{b2}}{A_2} dx \right] \right]^2 \quad (37)$$

بطوریکه  $\mu_2$  توسط رابطه زیر تعریف می شود:

$$\mu_2 = \frac{6I_s}{b^3 B_2} \quad (38)$$

### کار انجام شده توسط نیروی محوری و بارگذاری جانبی

الف- کار انجام شده در بالای تیر سخت کننده :

$$V_a = \left[ P_a \int_{h_s}^H \int_x^H \left( \frac{dy_a}{dx} \right)^2 dx dx \right] + \left[ \int_{h_s}^H (u+w) y_a dx + p y_a(H) \right] \quad (39)$$

ب- کار انجام شده در پایین تیر سخت کننده :

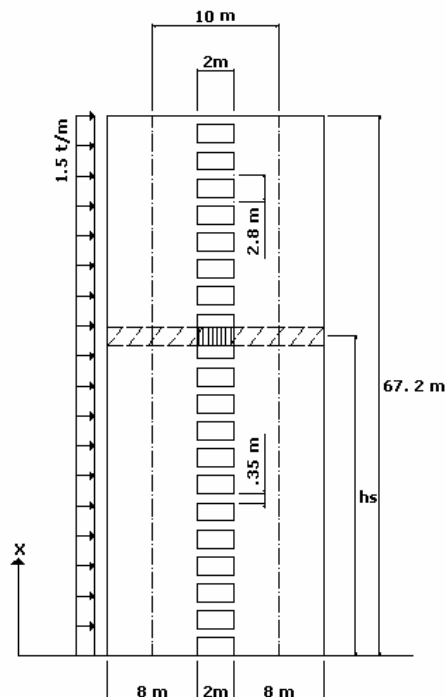
$$V_b = \left[ P_b \int_0^{h_s} \left( \int_{h_s}^H \left( \frac{dy_a}{dx} \right)^2 dx + \int_x^{h_s} \left( \frac{dy_b}{dx} \right)^2 dx \right) dx \right] + \left[ \int_{h_s}^H (u+w) y_a dx + P y_a(H) + \int_0^{h_s} (u+w) y_b dx \right] \quad (40)$$

بدین ترتیب انرژی پتانسیل کل بصورت زیر بیان می گردد:

$$U = u_1 + u_2 + u_a + u_b + u_s - v_a - v_b \quad (41)$$

با کمینه کردن انرژی پتانسیل کل سازه نسبت به ضرایب مجهول، مقادیر  $a_2$  و  $b_4$  بدست آمده و با

باربحرانی سازه برای سه موقعیت تیر سخت کننده، در ارتفاعهای  $\frac{H}{3}$ ،  $\frac{H}{2}$  و  $\frac{2}{3}H$  بدست آمده است. در جدول (۱) نتایج سه نمونه دیوارهای بررسی شده در مقایسه با نتایج حاصله از نرم افزار ANSYS آمده است که نشان دهنده دقت مناسب روش ارائه شده می باشد. اشکال (۸)، (۱۰) و (۱۲) تأثیر ارتفاع تیر سخت کننده در بار کمانشی گرانشی را نشان می دهد که بیانگر این است که هرچه ارتفاع تیر سخت کننده بیشتر شود بار کمانشی سازه بیشتر می شود. اشکال (۹)، (۱۱) و (۱۳) تأثیر موقعیت تیر سخت کننده در بار کمانشی گرانشی دیوار را نشان می دهد، که تیر سخت کننده در موقعیتهای  $\frac{2}{3}H$  و  $\frac{H}{2}$  و  $\frac{H}{3}$  قرار گرفته است و بیانگر این است که بار بحرانی گرانشی دیوار، زمانی ماکزیمم است که تیر سخت کننده در ارتفاع حدود  $\frac{2}{3}H$  قرار گیرد.



شکل ۷: ابعاد دیوار برشی کوپل سخت شده برای مثال مورد بررسی.

جدول ۱: مقایسه بار کمانشی گرانشی بین فرمول پیشنهادی و نرم افزار Ansys برای  $H = 67.2 \text{ m}$  و  $h_m = 1 \text{ m}$

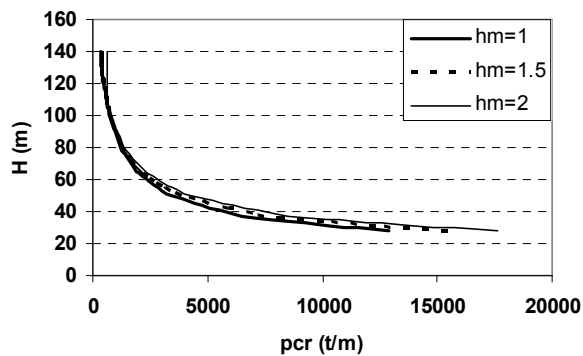
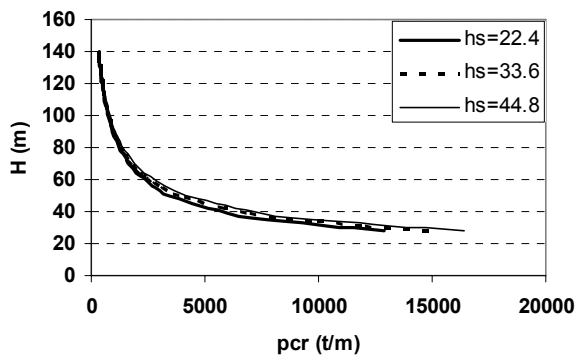
موقعیت تیر سخت کننده	$\frac{H}{3}$	$\frac{H}{2}$	$\frac{2}{3}H$
باروش پیشنهادی $P_{Cr}(\frac{1}{m})$	۱۸۰۹	۱۹۹۰	۲۱۱۰
بانرم افزار Ansys $P_{Cr}(\frac{1}{m})$	۱۶۱۰	۱۷۰۲	۱۸۵۰

پتانسیل کل سیستم محاسبه و با کمینه کردن آن نسبت به ضرایب مجهول، معادله تغییر شکل دیوار برشی کوپل سخت شده بدست آمده است. در نهایت با صفر کردن دترمینان ضرایب معادلات حاصل از کمینه سازی، بار بحرانی گسترده یکنواخت برای دیوار برشی کوپل سخت شده بدست آمده است. با استفاده از نمودارها و فرمول بندی ارائه شده رفتار دیوار برای سه ارتفاع مختلف تیر سخت کننده ( $\frac{2}{3}H$  و  $\frac{H}{2}$  و  $\frac{H}{3}$ ) بررسی گردید و بیشترین بار بحرانی درحالتی که تیرسخت کننده در حدود  $\frac{2}{3}$  ارتفاع کل دیوار قرارگیرد بدست آمد.

## خلاصه و نتیجه گیری

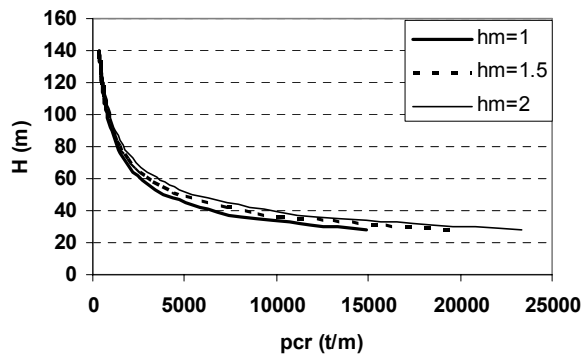
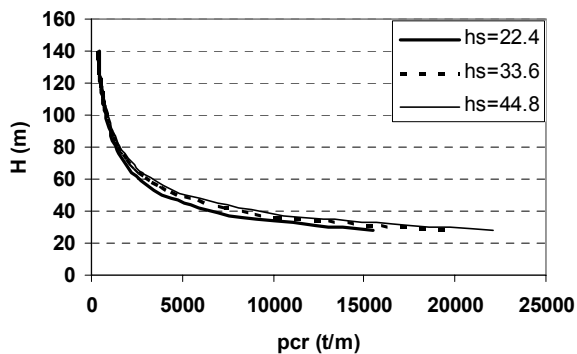
دراین مقاله روشی جهت محاسبه بار بحرانی گسترده یکنواخت بر روی دیوارهای برشی کوپل سخت شده ارائه گردیده است. در این روش سیستم ناپیوسته تیرهای اتصال با یک محیط پیوسته برشی جایگزین شده است. با نوشتن معادلات تعادل و روابط لنگر- انحناء برای تک تک دیوارها و حذف جریان برشی از روابط، معادله حاکم بر تغییر شکل دیوار برشی کوپل سخت شده بدست آمده است. در معادله حاکم اثرات نیروی محوری و تیر سخت کننده لحاظ شده است. حل دقیق معادله دیفرانسیل حاکم بسیار دشوار است، بنابراین جهت حل آن از روش انرژی استفاده شده است. در این روش ابتدا تابع شکل سازگار با شرایط مرزی انتخاب و سپس انرژی





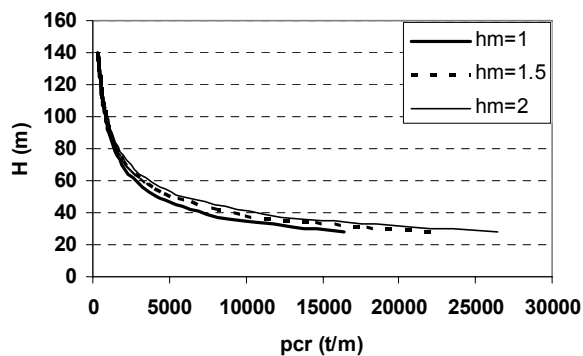
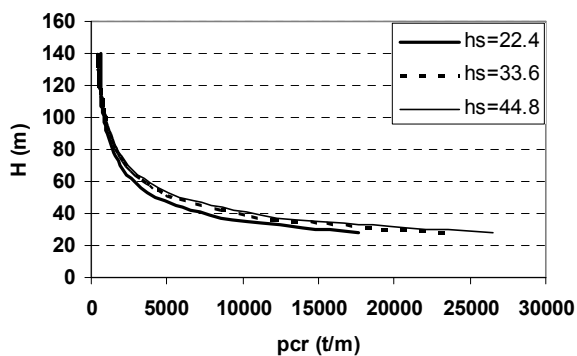
شکل ۸: تاثیر ارتفاع تیر سخت کننده در بار کمانشی  
گرانشی در  $hm=1$  m

شکل ۹: تاثیر ارتفاع تیر سخت کننده در بار کمانشی  
گرانشی در  $hs=22.4$  m



شکل ۱۰: تاثیر ارتفاع تیر سخت کننده در بار کمانشی  
گرانشی در  $hm=1.5$  m

شکل ۱۱: تاثیر ارتفاع تیر سخت کننده در بار کمانشی  
گرانشی در  $hs=33.6$  m



شکل ۱۲: تاثیر ارتفاع تیر سخت کننده در بار کمانشی  
گرانشی در  $hm=2$  m

شکل ۱۳: تاثیر ارتفاع تیر سخت کننده در بار کمانشی  
گرانشی در  $hs=44.8$  m

## مراجع

- 1 - Coull, A. and Bensmil, L. (1991). "Stiffened coupled shear walls." *Journal of Structural Engineering, ASCE.*, Vol. 117, No. 8, PP. 2205-2223.
- 2 - Chan, H. C. and Kuang, J. S. (1988). "Effect of single deep beam on twin shears walls with rational coupling." *Proc., Inst. Of Civil Engineers*, London, England, Vol. 85, Sep., PP. 503-515.
- 3 - Chan, H. C. and Kuang, J. S. (1989). "Stiffened coupled shear walls." *Journal of Structural Engineering Mechanics, ASCE.*, Vol. 115, No. 4, PP. 689-703.
- 4 - Chan, H. C. and Kuang, J. S. (1989). "Elastic design charts for stiffened coupled shear walls." *Journal of Structural Engineering, ASCE.*, Vol. 115, No. 2, PP. 247-267.
- 5 - Choo, B. S. and Li, G. Q. (1997). "Structural analysis of multi-stiffened coupled shear walls on flexible foundation." *Computer and Structures*, Vol. 64, No.1-4, PP. 837-848.
- 6 - Rosman, R. (1974). "Stability and dynamics of shear-wall frame structures." *Building Science*, Vol. 9, PP. 55-63.
- 7 - Grzelak, E. (1982). *The approximate free vibration and stability analysis of shear- flexure cantilevers*. M.Sc Project Report. Dept. of Civ. Engrg., McGill Univ., Montreal.
- ۸ - آذرمینا، پ. "طراحی و تحلیل غیر خطی دیوارهای برشی." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۷۰).
- ۹ - رشیدی، س. "آنالیز دیوارهای برشی بتنی تخت سوراخدار." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۷۰).
- ۱۰ - منجمی نژاد، س. "بررسی رفتار دیوارهای برشی کوپله سخت شده به روش اجزاء محدود غیر خطی." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، (۱۳۸۰).
- 11 - Assadi Zeidabadi, N., Mirtalae, K. and Mobasher, B. (2004). "Optimized use of the outrigger system to stiffen the coupled shear walls in tall buildings." *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 13, PP. 9-27.
- 12 - Aksogan, O., Arsalan, H. M. and Seren Akavci, S. (2003). "Stiffened coupled shear walls on elastic foundation with flexible connections and stepwise changes in width." *Iranian Journal of Science & Technology*, Vol. 27, No.B1, PP. 37-46.
- 13 - Kuang, J. S. (2000). "Coupled lateral- torsion vibration of asymmetric shear-wall structures." *Journal of Thin-Walled Structures*, Vol. 38, No. 2, PP. 93-104.
- 14 - Wang, Q. and Wang, L. Y. (2005). "Estimating periods of vibration of building with coupled shear walls." *Journal of Structural Engineering*, Vol. 131, No. 12, PP. 1931-1935.
- 15 - Aksogan, O., Arsalan, H. M. and Choo, B. S. (2003). "Forced vibration analysis of stiffened coupled shear walls using continuous connection method." *Engineering Structures*, Vol. 25, No.4, PP. 499-506.
- 16 - Timoshenko and Gere. (1961). *Theory of Elastic Stability*. New York, Mc Graw – Hill.