

## بهبود روش های تحلیل اعضای برشی سازه ها با استفاده از اجزای محدود\*

حسن حاجی کاظمی<sup>(۱)</sup>      افشین مشکوةالدینی<sup>(۲)</sup>

**چکیده** تحلیل دقیق دیوارها و هسته های برشی و تأثیر ویژگی های رفتاری آنها نظیر خمش ساختگی و برش اضافی از مسایل بسیار مهم در طراحی سازه های بلند است. در این مقاله با ارائه اجزای محدودی که قابلیت تأثیر پخش غیرخطی تابع کرنش برشی را دارند، بخشی از مشکلات مربوط برطرف شده است. مقایسات عددی نشان می دهد که در مدل سازی رفتار دیوارهای برشی، کاستن یا افزودن جملات با توانهای بالاتر از یک به توابع کرنش، می تواند به عنوان یکی از مشخصه های اساسی در بهبود ویژگی های میدان تغییر مکان حاکم بر رفتار جزء محدود باشد. اثبات این ویژگی راهگشای توسعه و آفرینش میدان های کرنش پیشرفته تر نیز به شمار می آید. **واژه های کلیدی** اجزای محدود، میدان کرنش، تابع کرنش غیرخطی، خمش ساختگی، برش اضافی

### Improved Method of Analysis of Structural Members

#### Using Finite Elements

H. Haji-kazemi

A. Meshkotodini

**Abstract** *Accurate analysis of shear walls and cores of tall building structures needs consideration of artificial flexure and parasitic shear in modeling. In this paper, new non-linear, strain based finite elements are proposed to overcome some of the difficulties occurring due to above mentioned parameters. Numerical comparisons are also made to show that increasing or decreasing the power of the strain functions are a key to improve the behavior of the structural modeling.*

**Key Words** Finite Elements, Strain Field, Non-Linear Strain Function, Artificial Flexure, Parasitic, Shear.

\* نسخه اولیه مقاله در تاریخ ۷۹/۸/۱۴ و نسخه نهایی آن در تاریخ ۸۰/۷/۱۵ به دفتر نشریه رسیده است.

۱ - استاد گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی "مشهد"

## مقدمه

دیوارهای برشی یکی از کاراترین فرم‌های سازه‌ای برای افزایش مقاومت ساختمان‌ها در برابر بارهای جانبی هستند. این دیوارها می‌توانند به صورت تکی یا دوپل با قاب‌های سازه رفتاری هماهنگ داشته باشند. تحلیل رفتاری دیوارهای برشی در تقابل با یکدیگر و با قاب‌های سازه، یکی از موضوعاتی است که در سالهای اخیر علاقه پژوهشگران بسیاری را جلب نموده است. روش‌های تحلیلی موجود دیوار برشی سازه‌های بلند، عموماً در دو دسته "مدل سازی لایه‌ای پیوسته" و "مدل سازی ناپیوسته" و استفاده از اعضای قابی و اجزای محدود یا نوارهای محدود تقسیم‌بندی می‌شوند. تلاش عمده پژوهشگران تا کنون، بر پایه تبیین رفتار این نوع سازه‌ها با یک ساختار الاستیک معادل استوار بوده است. نتایج تحقیقات زینکوویچ در ارائه روشی برای تعریف پیوستگی درجات آزادی دورانی اتصال دیوارها و قاب‌های سازه با استفاده از روش اجزای محدود، سرآغازی برای پژوهش‌های بعدی گردید [1]. استفاده از روش‌های نواری محدود [2, 3, 4] و تفاضل‌های محدود [5] نیز از دیگر روش‌های پیشنهادی هستند که علیرغم دقت مناسب، طولانی و پیچیده می‌باشند.

تمامی روش‌های ارائه شده کنونی دارای دو مشکل عمده می‌باشند. نخست اینکه به دلیل تعریف نادرست درجه آزادی دورانی بین دیوار و اجزای اتصال آن، شبیه سازی مناسبی برای تبیین پدیده "قفل شدگی برشی" ارائه نگردیده است. در روش‌های عمومی شبیه‌سازی دیوارهای برشی، فرض می‌گردد که دوران تیرها در محل اتصال تیر و دیوار برشی، برابر با دوران بازوهای صلب است. بنابراین هنگامی که دیوار تحت اثر برش تغییرشکل می‌دهد، بازوهای صلب حرکتی افقی خواهند داشت و در نتیجه تیرهای متصل به آنها دوران نخواهند کرد. عدم هماهنگی

رفتاری فوق که "قفل شدگی برشی" نامیده می‌شود، در هسته‌های برشی و دیوارهایی که تیرهای اتصال قوی دارند از اهمیت بیشتری برخوردار است.

دومین مسئله مدل‌سازی، تبدیل اتصال پیوسته واحدهای صفحه‌ای دیوارهای برشی و همچنین اتصالات تیر و دیوار، به تعدادی نقاط گرهی است. اثرات متقابل دیوارهای برشی کوپل بریکدیگر باعث جریان برش ناشی از تغییرشکل‌های سازه می‌گردد. مقدار تنش‌های برشی مزبور، در دیوارهای برشی با مقطع باز ناچیز ولی در هسته‌های برشی با مقطع بسته و نیز دیوارهای برشی غیرصفحه‌ای دارای تیرهای اتصال قوی، قابل ملاحظه خواهد بود. با توجه به نوع اتصال واحدهای صفحه‌ای و پیوسته دیوارهای برشی که در روش اجزای محدود به شکل نقاط گرهی شبیه‌سازی می‌شود، تنش برشی گسترده حاصل از اندرکنش داخلی میان دیوارهای برشی به صورت نیروهای متمرکز گرهی در گوشه‌های جزء محدود منظور می‌گردد. این نیروهای معادل گرهی، باعث بروز لنگرهای خمشی اضافی یا "خمش ساختگی" در جزء محدود می‌شوند. پدیده فوق، تأثیر قابل توجهی بر شکل‌پذیری مقطع هسته برشی و میزان دوران‌های گرهی خواهد داشت.

تحقیقات موجود نشان می‌دهند که یکی از بهترین راه‌های حل مسئله اول، انتخاب محور قائم اتصال تیر و دیوار برشی به عنوان معیار درجه آزادی دورانی است [1]. در شکل (۱)، دو معیار متفاوت برای تبیین درجه آزادی دورانی نشان داده شده است.

مسئله خمش ساختگی را نیز می‌توان با تعریف توابع مناسب برای تغییرشکل‌های شبه خمشی حل کرد. تاکنون اجزای محدود متعددی برای شبیه‌سازی‌های سازگار با رفتار سازه‌های دیوار برشی پیشنهاد شده است [6, 7]. بیشتر این اجزای محدود دارای مشکل

سخت شدگی برشی یا پدیده "برش اضافی" می‌باشند. دلیل اصلی این مسئله نیز بروز سختی زیاد در اجزاء، بهنگام اثر برش و خمش توأم است [8].

در این پژوهش، با پیشنهاد اجزای محدودی که قابلیت منظور نمودن پدیده‌های فوق را در تحلیل اندرکنش قاب دیوار یا دیواردیوار دارند، مشکلات مطرح شده تا حد زیادی برطرف گردیده است. میدان‌های کرنش غیرخطی اجزای محدود پیشنهادی به گونه‌ای طراحی شده‌اند که ضمن تعریف کرنش حالت خمش خالص، از تأثیر برش اضافی نیز به دور باشند. ایجاد این ویژگی در چگونگی تعریف توابع حرکت جسم صلب جزء محدود گنجانده شده است.

### فرضیات رفتاری

برای شبیه‌سازی و تحلیل رفتاری سیستم‌های ترکیبی دیوارهای برشی، از فرضیات زیر استفاده می‌شود:

۱- درجه آزادی دورانی در گره اتصال تیر و دیوار برشی، مطابق قسمت پایینی شکل (۱)، دوران محورهای عمودی ( $\omega = -\partial u / \partial y$ ) در نظر گرفته می‌شود. توضیح اینکه بعضی از پژوهشگران درجات آزادی دورانی را به صورت دوران ترکیبی محورهای افقی و عمودی

تعریف کرده‌اند [6, 7].

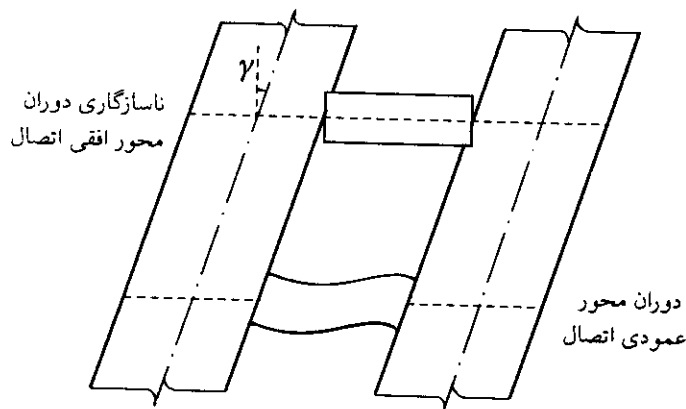
مر (Mohr) [9, 10] این دوران را با میانگین چرخش محورهای افقی و قائم جایگزین نموده و المن (Allman) [11] ترکیب پیچیده‌تری را برای درجه آزادی دورانی بکار برده است که نتایج آن نیاز به بررسی و مطالعه بیشتر دارد.

۲- از تنش‌ها و کرنش‌های جانبی پانل دیوار برشی چشم‌پوشی می‌شود.

۳- کف‌ها دارای صلبیت درون صفحه‌ای زیاد بوده و در انتقال جانبی، صلب عمل می‌کنند.

۴- در دیوارهای برشی متعامد نظیر هسته‌های برشی، از تغییرشکل‌های اعوجاجی درون صفحه‌ای چشم‌پوشی می‌شود.

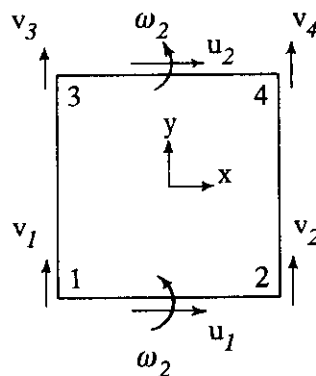
به دلیل بزرگتر بودن طول و عرض دیوار نسبت به ضخامت آن، واکنش‌های ناشی از میدان غشایی درون دیوار، بسیار کوچکتر از واکنش‌های ناشی از خمش درون صفحه‌ای آن است. بنابراین می‌توان پیش‌بینی نمود که تنش‌های هم‌راستای بارهای جانبی در دیوار برشی، بسیار کمتر از تنش‌های خمشی باشد. از طرف دیگر، به دلیل سختی درون صفحه‌ای بسیار زیاد دیوارها و اثر اندرکنش متقابل کف‌ها، مقطع اعضا دچار تغییرشکل نخواهند شد.



شکل ۱ معیارهای درجه آزادی دورانی اتصال تیر و دیوار برشی

### ساختار هندسی جزء محدود پیشنهادی

جزء محدود پیشنهادی بر پایه توابع کرنش طراحی شده و میدان کرنش حاکم بر رفتار آن از درجه سوم انتخاب گردیده است. براساس فرض حاکم بر رفتار سازه‌های دیوار برشی، توابع حرکت جسم صلب المان باید به گونه‌ای طراحی شوند که میدان کرنش صفر را توجیه نموده و همزمان سبب کاهش درجات آزادی دورانی در دو لبه بالایی و پایینی المان گردند.



شکل ۲ طرح هندسی جزء محدود پیشنهادی

شکل کلی این جزء پیشنهادی مانند جزء محدود مرجع [12] است. ویژگی اصلی و مهم جزء پیشنهادی، تحلیل تأثیر پخش غیرخطی تابع کرنش برشی در میدان کرنش حاکم بر رفتار المان و مطالعه چگونگی بهبود میدان‌های کرنش غیرخطی است. این جزء محدود دارای هشت درجه آزادی بوده و درجات آزادی  $u_1$  و  $\omega_1$  مربوط به توجیه فرض حرکت جسم صلب لبه پایینی المان و  $u_2$  و  $\omega_2$ ، توجیه کننده حرکت جسم صلب لبه بالایی المان می‌باشند. درجات آزادی دورانی  $\omega_1$  و  $\omega_2$  بر مبنای چرخش محور عمودی المان رابطه‌سازی شده است. ساخت میدان کرنش صفر با توابع کرنش جسم صلب و با فرض زیر امکان‌پذیر است.

$$\varepsilon_x = 0 \quad ; \quad \varepsilon_y = 0 \quad ; \quad \gamma_{xy} = 0 \quad (1)$$

با در نظر گرفتن میدان کرنش صفر، توابع تغییر مکان جسم صلب به صورت زیر خواهد شد.

$$u = \alpha_1 - \alpha_2 y \quad ; \quad v = \alpha_3 + \alpha_4 x \quad (2)$$

عدم وابستگی تابع تغییر مکان افقی  $u$  به متغیر  $x$  را می‌توان با حرکت جسم صلب کف و تعمیم آن به ناچیز بودن کرنش و تنش افقی ناشی از اثر مستقیم بارهای جانبی بر دیوار برشی توجیه نمود. توابع میدان کرنش غیرخطی حاکم بر رفتار جزء محدود پیشنهادی با نام  $(K)$  را می‌توان به صورت زیر نوشت.

$$(\varepsilon_x)_K = 0 \quad (3)$$

$$(\varepsilon_y)_K = \alpha_5 + \alpha_6 xy + \alpha_7 x + \alpha_8 xy^2 \\ = \alpha_5 + (\alpha_6 y + \alpha_7 + \alpha_8 y^2) x \quad (4)$$

$$(\gamma_{xy})_K = \alpha_9 + \alpha_{10} y + \alpha_{11} y^2 \quad (5)$$

عبارت  $(\alpha_6 y + \alpha_7 + \alpha_8 y^2) x$  در تابع  $\varepsilon_y$  بیان‌کننده پخش خطی کرنش خمشی در راستای ارتفاعی پانل دیوار برشی به ازای مقادیر مختلف  $y$  می‌باشد. ویژگی فوق با رفتار تیری دیوار برشی در پناهی سازه هماهنگی دارد. ضریب  $\alpha_9$  نیز مربوط به کرنش محوری تار مرکزی پانل دیوار برشی است.

پخش غیرخطی تابع کرنش خمشی  $\varepsilon_y$  در راستای ارتفاع، به‌عنوان ابزاری دقیق برای بررسی رفتار خمشی پانل دیوار برشی، همانند یک تیر عمیق بکار گرفته شده است. عبارت  $(\alpha_6 y + \alpha_7 + \alpha_8 y^2)$  تابع انحنا غیرخطی پانل دیوار است. تابع غیرخطی فوق، معیار رفتاری تعمیم‌یافته‌ای را برای پانل دیوار برشی با مقطع نازک ارائه می‌دهد. این ویژگی مزیت بزرگی است که در جزء محدود پیشنهادی به صورت رفتار شبه خمشی منظور شده است.

میدان کرنش جزء مذکور علاوه بر ارائه رفتار یک تیر ساده، دارای تابع انحنا غیرخطی معرف اثرات متقابل

## Archive of SID

ریشه‌یابی اثر برش اضافی یک بحث ساختاری است که نتایج حاصل از این پژوهش زمینه ساز حذف آن خواهد بود.

تفاوت عمده میان دو پدیده برش اضافی و سخت‌شدگی برشی، در طرح توابع میدان کرنش حاکم بر رفتار جزء محدود پیشنهادی نهفته است. برش اضافی پدیده نامطلوبی است که بر پایه تعریف نادرست تابع کرنش برشی  $\gamma_{xy}$  استوار است، در صورتی که سخت‌شدگی برشی تنها بخاطر افزایش درجه  $\varepsilon_y$  بوجود می‌آید. سخت‌شدگی برشی تاثیر بسیار ناچیزی در سخت‌تر شدن رفتار المان دارد. نویسندگان بر اساس همین نگرش و توجیهاتی که در بررسی توابع ریاضی از درجه زوج و فرد مطرح شد، این موضوع را نیز در میدان کرنش جزء محدود پیشنهادی وارد نموده و توابع کرنش خمشی کامل تری را طراحی کرده‌اند که برای سه جزء محدود هم‌پایه المان (K) با نامهای (E, F, G) به‌قرار زیر می‌باشند.

$$\begin{aligned}(\varepsilon_y)_E &= \alpha_f + \alpha_\delta xy + \alpha_v x \\ &= \alpha_f + (\alpha_\delta y + \alpha_v)x\end{aligned}\quad (9)$$

$$\begin{aligned}(\varepsilon_y)_F &= \alpha_f + \alpha_\delta xy^2 + \alpha_v x \\ &= \alpha_f + (\alpha_\delta y^2 + \alpha_v)x\end{aligned}\quad (10)$$

$$\begin{aligned}(\varepsilon_y)_G &= \alpha_f + \alpha_\delta xy^2 + \alpha_v x + \alpha_\lambda xy^2 \\ &= \alpha_f + (\alpha_\delta y^2 + \alpha_v + \alpha_\lambda y^2)x\end{aligned}\quad (11)$$

توابع کرنش افقی  $\varepsilon_x$  و کرنش برشی  $\gamma_{xy}$  مربوط به هر سه المان تعمیم یافته جدید نظیر روابط نظیر المان K می‌باشند. چنانچه در این چهار میدان کرنش، از توابع  $\varepsilon_x$  نسبت به x و از  $\varepsilon_y$  نسبت به y انتگرال‌گیری شود، پس از افزودن توابع حرکت جسم صلب المان و انجام عملیات جبری مربوطه، توابع تغییر مکان افقی  $u(y)$  و تغییر مکان عمودی  $v(x, y)$  بدست می‌آیند.

تغییر شکل‌های برشی بر روی تغییر شکل‌های خمشی نیز می‌باشد. با فرض حرکت جسم صلب کف و ناچیز بودن تنش‌ها و کرنش‌های افقی ( $\varepsilon_x = 0$ )، پخش غیرخطی درجه سوم برای تابع کرنش برشی جزء محدود پیشنهادی به‌صورت زیر خواهد شد.

$$\begin{aligned}\gamma_{xy} &= (\theta_1 - \omega_1) \left[ \frac{1}{y} - \frac{3}{y} \left( \frac{y}{L_{13}} \right) + 2 \left( \frac{y}{L_{13}} \right)^2 \right] + \\ &(\theta_2 - \omega_2) \left[ \frac{1}{y} + \frac{3}{y} \left( \frac{y}{L_{13}} \right) - 2 \left( \frac{y}{L_{13}} \right)^2 \right]\end{aligned}\quad (6)$$

$L_{13}$  طول جزء محدود و  $\omega_1$  و  $\theta_1$  بترتیب چرخش محور عمودی و افقی در لبه پایینی جزء محدود می‌باشند. این تعریف در لبه بالایی المان برای  $\omega_2$  و  $\theta_2$  نیز برقرار است.

$$\omega_1 = - \frac{\partial u(-b)}{\partial y} ; \quad \theta_1 = \frac{\partial v(x, -b)}{\partial x}\quad (7)$$

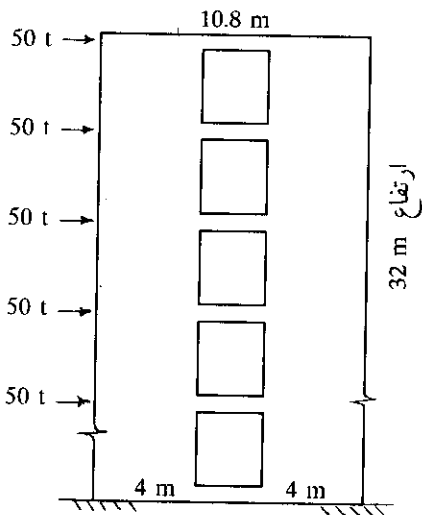
$$\omega_2 = - \frac{\partial u(b)}{\partial y} ; \quad \theta_2 = \frac{\partial v(x, b)}{\partial x}\quad (8)$$

پخش غیرخطی درجه سوم تابع کرنش برشی، در مقایسه با پخش خطی و مقدار ثابت، انعطاف‌پذیری المان را در برابر لغزش لایه‌های عمودی و افقی ماده سازنده دیوار برشی بیشتر می‌کند. این مسئله بویژه در پانل‌های با نیروی برشی و اثرات اندرکنش خمشی برشی زیاد، از اهمیت بسزایی برخوردار است. بنابراین می‌توان بحث تحلیلی اثر تغییر شکل‌های برشی را به پدیده برش اضافی تعمیم داد.

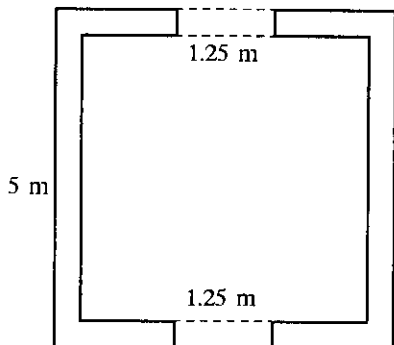
بحث تحلیلی عوامل مؤثر بر برش اضافی در دو گروه تقسیم‌بندی می‌شود. ۱- ضریب پایه  $\alpha_f$  در تابع کرنش برشی  $\gamma_{xy}$  عامل برش اضافی در المان است. ۲- بیشتر شدن تعداد ضرایب پایه مشترک میان دو تابع  $\varepsilon_y$  و  $\gamma_{xy}$  احتمال ایجاد برش اضافی را افزایش می‌دهد. بنابراین،

اجزای محدود پیشنهادی بدست می‌آید.

نمونه‌های تحلیلی کاربرد اجزای محدود پیشنهادی برای تشریح کارایی اجزای محدود پیشنهادی، چند نمونه کاربردی تحلیل عددی شده و نتایج با روش‌های پژوهشگران پیشین مقایسه گردیده است. سازه‌های تحلیل شده شامل یک دیواربرشی کوپل (شکل ۳) و یک هسته برشی (شکل ۴) است. انتخاب نوع این سازه‌ها بر اساس ویژگی تاثیرگذاری دوران و انتقال عمودی تعریف شده در اجزای محدود پیشنهادی می‌باشد.



شکل ۳ دیوار برشی کوپل



شکل ۴ هسته برشی؛ عمق تیرهای اتصالی: D؛ دهانه مرنی تیرها: L؛ تعداد بازشوها: ۱۰

پس از محاسبه توابع تغییر مکان  $u(y)$  و  $v(x, y)$  برای هر چهار جزء محدود ساخته شده با توابع پایه کرنش، می‌توان با استفاده از روش عمومی اجزای محدود، ماتریس‌های سختی را بدست آورد.

$$[K] = t \int_A [B]^T [D_m] [B] dA \quad (12)$$

در رابطه فوق  $[B]$  ماتریس کرنش،  $[D_m]$  ماتریس ماده و  $t$  نیز ضخامت جزء محدود می‌باشد. نمونه‌ای از ماتریس سختی اجزای پیشنهادی در پیوست آورده شده است.

### توابع تغییر مکان اجزای محدود پیشنهادی

میدان تغییر مکان حاکم بر رفتار جزء محدود دارای شکل کلی زیر است.

$$u(y) = f_1(y) \\ v(x, y) = f_2(x) + \int \varepsilon_y dy \quad (13)$$

$f_1(y)$  و  $f_2(x)$  توابع تکمیل‌کننده میدان تغییر مکان جزء محدود می‌باشند. رابطه عمومی کرنش برشی، تابعی از عوامل ریاضی مختلف و به شکل زیر است.

$$\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = \alpha_6 + \alpha_7 y + \alpha_8 y^3 \quad (14)$$

با بررسی اتحاد ریاضی توابع جبری دو سوی رابطه کرنش برشی، توابع تکمیل‌کننده میدان تغییر مکان جزء محدود نیز بدست می‌آید.

$$f_1(y) = u + \int \{ \gamma_{xy} - \frac{\partial}{\partial x} [\int \varepsilon_y dy] \} dy ; f_2(x) = v \quad (15)$$

شکل پارامتری توابع میدان تغییر مکان المان به صورت زیر است.

$$u(y) = (\alpha_1 - \alpha_3 y) + (\alpha_6 y + \frac{1}{4} \alpha_7 y^2 + \frac{1}{4} \alpha_8 y^4) - \int \{ \frac{\partial}{\partial x} [\int \varepsilon_y(x, y) dy] \} dy \\ v(x, y) = (\alpha_4 + \alpha_3 x) + [\int \varepsilon_y(x, y) dy] \quad (16)$$

با استفاده از مفاهیم فوق، توابع میدان تغییر مکان

روش پیشنهادی و سایر روشها در جدول (۱) نیز مشهود است.

جدول ۱ تغییرات زاویه پیچش هسته برشی در تراز ۳۵m

اجزای محدود	$\phi_{top} \times 10^{-5}$		
	D/L = ۰/۵	D/L = ۰/۶	D/L = ۰/۷
K	۰/۲۶۶۷	۰/۲۳۲۹	۰/۲۱۳۴
E	۰/۲۶۹۹	۰/۲۳۵۶	۰/۲۱۵۹
F	۰/۲۵۸۶	۰/۲۲۴۲	۰/۲۰۴۳
G	۰/۲۵۵۵	۰/۲۲۱۵	۰/۲۰۲۰
[4]	۰/۲۸۲۴	۰/۲۴۸۰	۰/۲۲۸۱
[12]	۰/۲۶۹۰	۰/۲۳۴۷	۰/۲۱۳۹
[13]	۰/۲۶۹۰	۰/۲۳۴۷	۰/۲۱۴۹

### نتیجه گیری

ساخت اجزای محدود پیشنهادی بر پایه ترکیب فرضیات رفتاری با تعریف دوران گرهی  $\omega$  و اندرکنش متقابل خمشی - برشی صورت گرفته است. طرح هندسی اجزای یادشده از کاربرد فرضیات اول و دوم حاکم بر رفتار دیوارهای برشی، و طرح ریاضی آنها از تعریف دوران  $\omega$  و تحلیل اندرکنش متقابل کرنشهای خمشی و برشی اثر پذیرفته است. نتایج تحلیل دو سازه مثال، مبین کارایی بسیار مناسب چهار جزء محدود K، E، F، G است.

مطالعه دقیق نتایج ارائه شده در جدول (۱) و شکل های (۵) و (۶) نشان می دهد که وجود توان های فرد متغیر  $\gamma$ ، ویژگی های رفتاری اجزای محدود پیشنهادی را به جزء مراجع [1] و [13] نزدیک ساخته است. طرح این موضوع بر مبنای دو پخش خطی و غیرخطی تابع کرنش برشی می باشد.

زمینه های حذف اثر برش اضافی در شبیه سازی

توضیح اینکه ایجاد هماهنگی رفتاری میان دو دیواربرشی صفحه ای بوسیله تیرهای اتصال و همچنین اثرات تقابل دیوارهای متعامد در هسته های برشی، می تواند معیار مناسبی برای تشخیص چگونگی ناپوستگی و نیز پیوستگی اثرات متقابل خمشی برشی در ساختار پیونددهنده دو دیواربرشی باشد. بدیهی است که ترکیب هر دو واکنش درون ساختاری فوق، بر تشخیص قابلیت های رفتاری سازه مقاوم تأثیر مستقیم دارد.

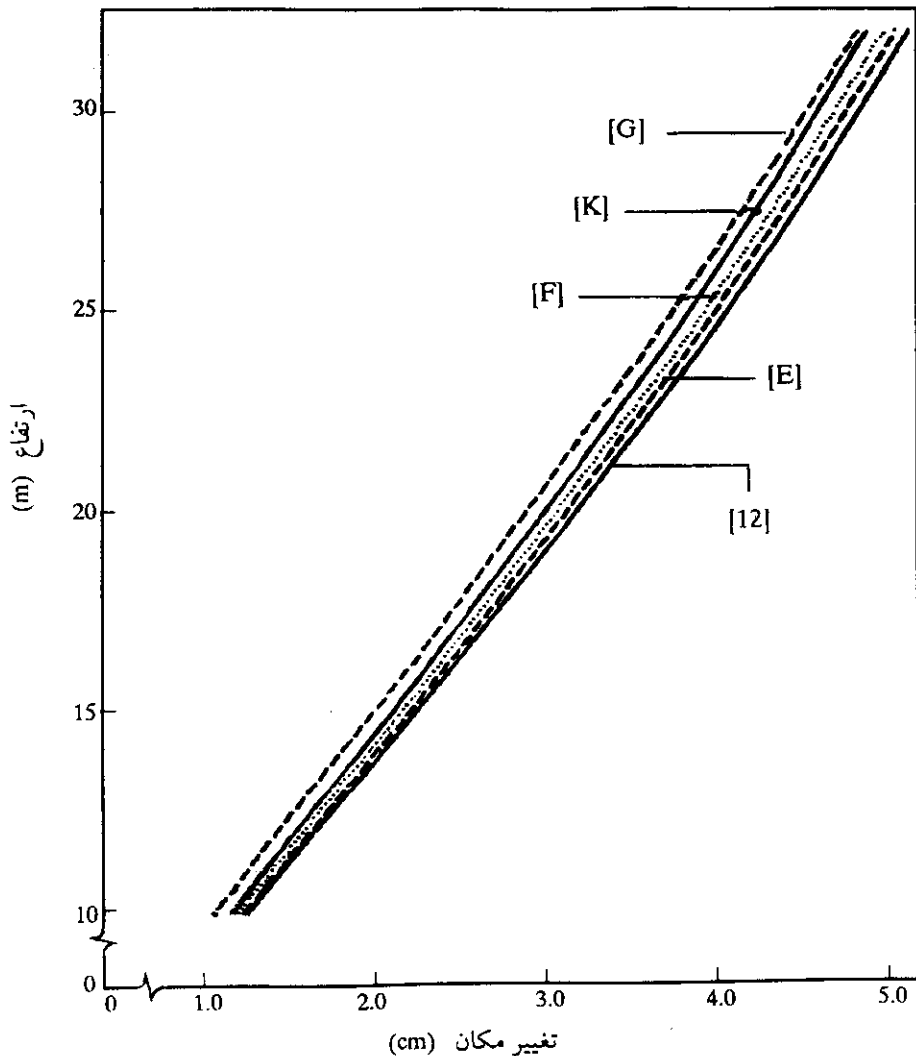
دیوار برشی کویل. مشخصات هندسی سازه دیواربرشی در شکل (۳) نشان داده شده است. در این مثال، مدول الاستیسیته مواد برابر  $E = 200,000 \text{ kg/cm}^2$ ، ضریب پواسون برابر با  $0.25$  و ضخامت دیوار برابر  $40 \text{ cm}$  در نظر گرفته شده اند.

نتایج حاصل از تحلیل سازه فوق با روش پیشنهادی و سایر روشها در نمودار شکل (۵) نشان داده شده است. همگرایی مناسب میان پاسخ های حاصل از ساختار ریاضی پیشنهادی و اجزای محدود مراجع یاد شده، بخوبی در نمودار مشهود است.

هسته برشی. ویژگی های رفتاری هسته برشی شکل (۴)، بر حسب تغییرات ارتفاع مقطع تیرهای اتصال مورد مطالعه قرار گرفته است. هسته مورد نظر دارای مقطع مربع با اضلاع به طول  $5/0 \text{ m}$  و دیوارهای به ضخامت  $30 \text{ cm}$ ، تحت اثر لنگر پیچشی  $1/0 \text{ t/m}$  در بالاترین تراز ارتفاعی می باشد. تغییرات زاویه پیچش  $(\phi_{top})$  در تراز بالای سازه و ارتفاع  $35 \text{ m}$  که در شکل (۶) نشان داده شده است، بیانگر توانایی خوب اجزای محدود پیشنهادی در توجیه فرضیات دوم و بریژه فرض سوم حاکم بر رفتار سیستم های ترکیبی دیوار برشی می باشد. نزدیکی و همگرایی بسیار مناسب پاسخ های

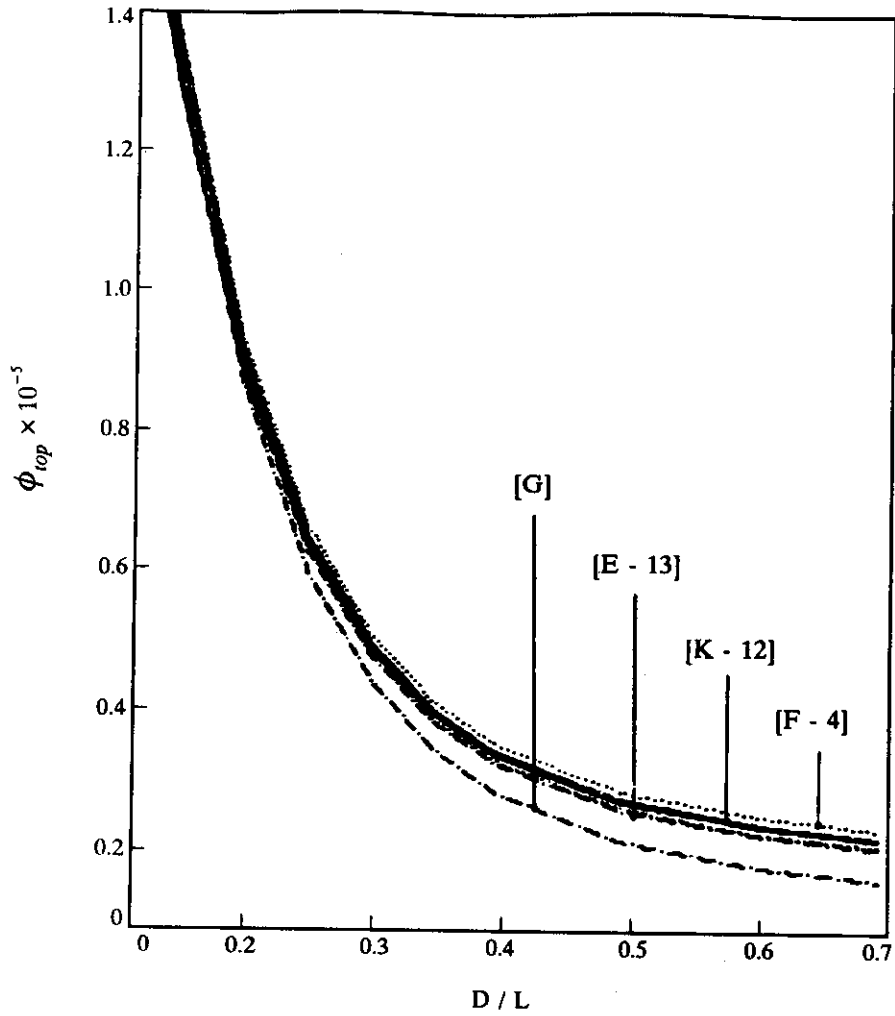
- ۳- تعداد ضرایب پایه  $\alpha_i$  مشترک میان تابع کرنش برشی  $\gamma_{xy}$  و کرنش خمشی  $\varepsilon_y$  باید تا حد امکان کاهش یابد.
- ۴- توانهای زوج متغیر  $\gamma$  در تابع کرنش برشی  $\gamma_{xy}$  باید تا حد امکان حذف شود.
- ۵- وجود توان‌های فرد  $\gamma$  در تابع  $\gamma_{xy}$  قابلیت اعمال بیشتری نسبت به توان‌های زوج  $\gamma$  در پخش نیروی برشی مربوط به پانلهایی از دیوار که دچار اثر خمش مخالف می‌باشند، دارد.

- دیوارهای برشی را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی و پیشنهاد نمود.
- ۱- تابع کرنش برشی مربوط به حرکت جسم صلب جزء محدود کرنشی باید از نظر عددی به ازای کلیه مقادیر  $x$  و  $y$ ، صفر باشد.
- ۲- ضرایب پایه  $\alpha_i$  در تابع کرنش برشی ( $\gamma_{xy}$ ) را نباید در تابع کرنش برشی کلی مربوط به میدان کرنش حاکم بر رفتار جزء محدود وارد نمود.



شکل ۵ تغییر مکان جانبی دیوار برشی کوپل





شکل ۶ تغییرات زاویه پیش‌هسته برشی

1. Zienkiewicz, O. C. and Parekh, C. J. and Teply, B., "Three-dimensional analysis of buildings composed of floor and wall panels", *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, Part 2, 49, pp. 319-332, (1971).
2. Cheung, Y. K. and Swaddiwudhipong, S., "Analysis of frame shear wall structures using finite strip elements", *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, Part 2, 65(Sept.), pp. 517-535, (1978).
3. Chan, H. C. and Cheung, Y. K., "Analysis of shear walls using higher order elements", *Bldg. Envir.*, 14(3), pp. 217-224, (1979).
4. Kwan, A. K. H., "Reformulation of the frame method", *Proc., Instn. Civ. Engrs. Struct. & Buildings*, Vol. 94(Feb.), pp. 103-116, (1992).
5. Liauw, T. C. and Luk, W. K., "Torsion of core walls of nonuniform section", *J. Struct. Div., ASCE*, 106(ST9), pp. 1921-1931, (1980).
6. Abu Ghazaleh, B. N., "Analysis of Plate-Type Prismatic Structures", Ph.d Thesis, University of California, Berkeley, California, (1965).
7. Macleod, I. A., "New rectangular finite element for shear wall analysis", *J. Struct. Div., ASCE*, 95(ST3), pp. 399-409, (1969).
8. Cook, R. D., "Avoidance of parasitic shear in plane element", *J. Struct. Engrg. Div., ASCE*, 101(6), pp. 1239-1253, (1975).
9. Mohr, G. A., "A simple rectangular membrane element including the drilling freedom", *Comput. Struct.*, 13(6), pp. 483-487, (1981).
10. Mohr, G. A., "Finite element formulation by nested interpolations: application to the drilling freedom problem", *Comput. Struct.*, 15(2), pp. 185-190, (1982).
11. Allman, D. J., "A quadrilateral finite element including vertex rotations for plane elasticity analysis", *Int. J. Numer. Methods Engrg.*, 26(3), pp. 717-730, (1988).
12. Kwan, A. K. H., "Analysis of buildings using strain-based element with rotational dofs", *J. Struct. Div., ASCE*, 118(5), pp. 1191-1212, (1992).
13. Kwan, A. K. H., "Resolving the artificial flexure problem in the frame method", *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, 99(Part 2, Feb.), pp. 1-14, (1993).

