



## آنالیز ارتعاشی آزاد دیوارهای برشی کوپله با استفاده از الگوریتم همپیچی منفرد گسسته

محمد شکراللهی<sup>1</sup>، امیرزایی بغلانی نژاد<sup>2</sup>

1- عضو هیئت علمی، گروه عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، ایران

mshokrollahy@gmail.com

2- عضو هیئت علمی، گروه عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، ایران

Amir\_zayeri@yahoo.com

### چکیده

در این تحقیق نحوه آنالیز ارتعاشی آزاد دیوارهای برشی کوپله با استفاده از الگوریتم همپیچی منفرد گسسته (DSC) ارائه شده است. روش همپیچی منفرد گسسته شیوه عددی نونین است که در دهه اخیر توانایی خود را در تحلیل مسائل مربوط به ارتعاشات به خوبی نشان داده است. تحقیقات زیادی در خصوص چگونگی اعمال شرایط مرزی پیچیده در تحلیل مساله با استفاده از این روش انجام و راهکارهای گوناگونی در این خصوص ارائه شده است. وارد کردن شرایط مرزی دیوارهای برشی کوپله در معادلات حاکم، مساله چالش برانگیزی است که تا کنون راهکاری برای آن اندیشیده نشده است. هدف این مقاله ارائه الگوریتمی جهت اعمال شرایط مرزی در آنالیز ارتعاشی دیوارهای برشی کوپله با استفاده از روش DSC می باشد. جهت بررسی راهکار ارائه شده، نمونه های متعددی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند. به منظور صحت سنجی روش پیشنهادی، نتایج با مقادیر بدست آمده از روش تفاضل مربعات (DQ) و روش المان محدود (FE) مقایسه شدند. انطباق دقیق مقادیر حاصل از روش پیشنهادی با جوابهای دو روش عددی دیگر مبین کارایی و توانایی آن در تحلیل ارتعاشی دیوارهای برشی کوپله می باشد.

**واژه های کلیدی:** روش همپیچی منفرد گسسته، آنالیز ارتعاشی، دیوار برشی کوپله، شرایط مرزی

### 1. مقدمه

یکی از سیستمهایی که جهت مقاوم سازی ساختمان ها در مقابل بارهای جانبی استفاده می شود، دیوارهای برشی می باشند. گاهی اوقات برای تعبیه فضاهایی از قبیل در یا پنجره در دیوارهای برشی باید بازشوهایی در آن قرار داد. به این نوع دیوارها، دیوار برشی کوپله گفته می شود. با توجه به کاربرد فراوان این عناصر سازه ای در صنعت ساختمان سازی آنالیز دقیق آنها اهمیت ویژه ای پیدا می کند. به این منظور می توان از روشهای آزمایشگاهی، تحلیلی و عددی بهره جست. پر هزینه بودن روشهای آزمایشگاهی و عمومیت نداشتن روشهای تحلیلی از جمله عللی است که محققین را به استفاده از روشهای عددی در تحلیل متمایل ساخته است. یکی از روشهای عددی که اخیرا و در سال 1999 ابداع شده و کارایی خود را در تحلیل مسائل مختلف به خوبی نشان داده است، شیوه همپیچی منفرد گسسته می باشد [1]. اولین بار تحلیل مسائل سازه ای با استفاده از روش DSC



توسط وی و برای آنالیز ارتعاشی تیر صورت پذیرفت [2]. در تحقیق انجام شده فقط تیرهای با شرایط مرزی ساده و گیردار مورد تحلیل قرار گرفتند. در سال 2005 ژائو و همکاران با استفاده از روش مرز انطباقی مکرر بر گرفته از روش DQ موفق شدند شرط مرزی سر آزاد را در تحلیل ارتعاشی تیر به روش DSC فرمول بندی نمایند [3]. روش پیشنهادی این محققین روش نسبتاً مناسبی برای تحلیل تیر طره اولر برنولی بود. بعدها در سال 2010 زین وی و همکاران شیوه کارتری برای اعمال شرط مرزی سر آزاد تیر و ورق ارائه نمودند که نسبت به راهکار قبل حجم محاسبات کمتر و دقت بالاتری در تحلیل داشت [4]. آنها روش پیشنهادی خود را برای آنالیز تیر تیموشنکو که شرایط مرزی سر آزاد در آن پیچیده تر است نیز بسط دادند [5]. تا کنون برای اعمال شرایط مرزی سر آزاد دیوارهای برشی کوپله ایده‌ای ارائه نشده است. این تحقیق با هدف ارائه یک راهکار مناسب برای اعمال معادلات پیچیده مرز یاد شده در الگوریتم همپچی منفرد گسسته انجام شده است. در این راستا ابتدا روش عددی DSC و سپس معادلات دیفرانسیل حاکم و شرایط مرزی دیوار برشی کوپله معرفی می‌گردند. در ادامه نحوه گسسته سازی معادلات حاکم و اعمال شرایط مرزی ارائه خواهد شد. در انتها با تحلیل چند نمونه موردی صحت سنجی و کارایی راهکار پیشنهادی و همچنین توانایی الگوریتم DSC در تحلیل مساله یاد شده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## 2. روش همپچی منفرد گسسته

الگوریتم DSC برای اولین بار توسط وی معرفی شد [1]. در این روش مشابه سایر روشهای عددی دیگر جملات یک معادله دیفرانسیل بوسیله عبارات جبری تقریب زده می‌شوند که به این ترتیب معادله دیفرانسیل به یک معادله جبری معمولی تبدیل می‌شود. اساس ریاضی الگوریتم DSC تئوری توزیع و موجک ها می‌باشد. در صورتی که  $T$  تابع توزیع و  $\eta(t)$  المانی از فضای تابع آزمون باشد، انتگرال هم پیچی  $T, \eta$  به صورت زیر تعریف می‌گردد [2].

$$F(t) = (T * \eta)(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} T(t-x)\eta(x)dx \quad (1)$$

در این رابطه  $T(t-x)$  هسته منفرد نامیده می‌شود. از هسته های منفرد مختلفی در الگوریتم DSC استفاده می‌شود که یکی از کارآمدترین آنها هسته تنظیم شده شانون (RSK) می‌باشد [6-8]. هسته RSK به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\delta_{\Delta, \sigma}(x-x_k) = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{\Delta}\right)(x-x_k)}{\left(\frac{\pi}{\Delta}\right)(x-x_k)} \exp\left[\frac{(x-x_k)}{2\sigma^2}\right] \quad (2)$$

در این رابطه  $\Delta$  فاصله بین نقاط شبکه بندی و  $\sigma$  پارامتر تنظیم کننده هسته شانون است که به مقدار  $\Delta$

بستگی دارد.

جهت استفاده از انتگرال هم پیچی با تقریبی مناسب می توان رابطه (1) را به صورت گسسته شده زیر نوشت [2]:

$$F_{\alpha}(t) = \sum_k T(t - x_k) f(x_k) \quad (3)$$

در این رابطه  $F_{\alpha}(t)$  تقریب انتگرال هم پیچی  $F(t)$  است و  $\{x_k\}$  مختصات نقاط شبکه بندی می باشد که معادله حاکم روی آنها تعریف می گردد.

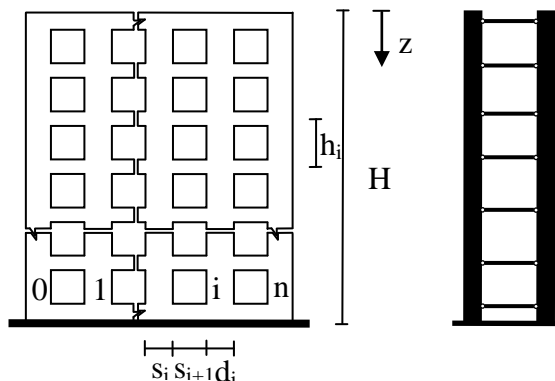
اگر تابع  $F(x)$  مجهول مساله باشد، برای استفاده از روش DSC این تابع گسسته شده و مشتقات آن باید در یک محیط شبکه بندی شده در نقاط  $x_i$  روی بازه  $[x - x_m, x + x_m]$  تخمین زده شوند. این تخمین به کمک شکل منفصل شده انتگرال هم پیچی معادله (3) صورت می پذیرد. به عبارت ساده تر برای مشتق مرتبه  $n$  تابع  $F(x)$  می توان نوشت [2]:

$$\left. \frac{d^n f(x)}{dx^n} \right|_{x=x_i} = f^n(x_i) \approx \sum_{k=m}^m \delta_{\Delta, \sigma}^n(x_i - x_k) f(x_k); n = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

در این رابطه  $f(x_k)$  مقدار تابع مورد نظر در نقاط شبکه بندی شده روی بازه  $[x - x_m, x + x_m]$  و  $\delta_{\Delta, \sigma}^n(x_i - x_k)$  مشتق مرتبه  $n$  هسته مورد استفاده است که در بازه محاسباتی به عرض  $2m + 1$  تعریف می-گردد.

### 3. معادلات حاکم و شرایط مرزی

رفتار دیوارهای برشی کوبله مشابه تیر اولر- برنولی یا تیر تیموشنکو نیست. بلکه رفتار این اعضا به صورت ترکیبی از هر دو حالت است. به تیر با این حالت رفتاری اصطلاحاً تیر ساندویچی گفته می شود. شکل (1) نشان دهنده دیوار برشی کوبله و تیر ساندویچی معادل آن است.



شکل (1): دیوار برشی کوبله و مدل تیر ساندویچی معادل آن

معادله حاکم بر ارتعاش دیوار برشی کوپله به صورت زیر می‌باشد:

$$EI \frac{\partial^4 \Psi(z,t)}{\partial z^4} - k_s \frac{\partial^2 \Psi(z,t)}{\partial z^2} + k_s \frac{\partial^2 \Phi(z,t)}{\partial z^2} + \gamma \frac{\partial^2 \Psi(z,t)}{\partial t^2} = 0 \quad (5)$$

در معادله (5)،  $\Psi$ ،  $\gamma$  و  $\frac{\partial \Phi(z,t)}{\partial z}$  به ترتیب جرم واحد طول مصالح، تابع تغییر شکل و زاویه دوران خمشی دیوار برشی کوپله می‌باشند.

با استفاده از تکنیک جداسازی متغیرها می‌توان  $\Psi$  و  $\Phi$  را به صورت تابعی از فرکانس زاویه‌ای دیوار

برشی کوپله نوشت:

$$\Psi(z,t) = \bar{\Psi}(z) \sin(\omega t) \quad (6)$$

$$\Phi(z,t) = \bar{\Phi}(z) \sin(\omega t) \quad (7)$$

با جایگذاری معادلات (6) و (7) در معادله حاکم بر ارتعاش دیوار برشی کوپله، رابطه (5) به صورت زیر

در خواهد آمد:

$$EI \frac{d^4 \bar{\Psi}}{dz^4} - k_s \frac{d^2 \bar{\Psi}}{dz^2} + k_s \frac{d^2 \bar{\Phi}}{dz^2} + \gamma \omega^2 \bar{\Psi} = 0 \quad (8)$$

معادله نیروی برشی تیر ساندویچی معادل نیز به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$D \frac{d^3 \bar{\Phi}}{dz^3} + k_s \frac{d \bar{\Psi}}{dz} - k_s \frac{d \bar{\Phi}}{dz} = 0 \quad (9)$$

در معادلات بالا،  $EI$  مجموع صلبیت‌های خمشی دیوارهای برشی و  $D$  صلبیت خمشی کلی دیوار برشی کوپله می‌باشد که از طریق رابطه (10) بدست می‌آید:

$$D = \sum_{j=1}^n EA_j r_j^2 \quad (10)$$

که  $A_j$  و  $r_j$  به ترتیب سطح مقطع  $j$  امین دیوار برشی و فاصله مرکز آن از مرکز سطح کل دیوارها می‌باشند.

$k_s$  نیز صلبیت برشی معادل دیوار برشی کوپله است که با استفاده از معادله زیر تعیین می‌شود [9]:

$$k_s = \frac{1}{\frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_b}} \quad (11)$$

برای دیوار برشی کوپله با تعداد  $n$  دیوار برشی و  $n-1$  تیر اتصال،  $R_c$  و  $R_b$  به صورت زیر بدست می‌آیند:

$$R_c = \sum_{j=0}^n \frac{12EI_{cj}}{h_i^2} \quad (12)$$

$$R_b = \sum_{j=1}^{n-1} \frac{6EI_{bj} [(d_j + s_j)^2 + (d_j + s_{j+1})^2]}{d_j^3 h_i \left( 1 + \frac{12kEI_{bj}}{GA_{bj} d_j^2} \right)} \quad (13)$$

در معادلات بالا  $GA_{ij}$  و  $EI_{ij}$  به ترتیب صلیبیت خمشی تیرهای اتصال و صلیبیت برشی اتصال آنها به یکدیگر می‌باشد.  $k$  ضریب شکل برشی مقطع است که برای مقاطع مستطیلی  $1/2$  در نظر گرفته می‌شود.

برای عمومیت دادن به معادلات حاکم می‌توان آنها را به صورت بی بعد نوشت. شکل بی بعد معادلات (8)

و (9) به صورت زیر است:

$$\frac{d^4 \bar{\Psi}}{d\xi^4} - k^2 \frac{d^2 \bar{\Psi}}{d\xi^2} + k^2 \frac{d^2 \bar{\Phi}}{d\xi^2} + m \bar{\Psi} = 0 \quad (14)$$

$$\frac{d^3 \bar{\Phi}}{d\xi^3} + s^2 \frac{d \bar{\Psi}}{d\xi} - s^2 \frac{d \bar{\Phi}}{d\xi} = 0 \quad (15)$$

پارامترهای  $\xi$ ،  $k$ ،  $s$  و  $m$  به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\xi = \frac{z}{H}, \quad k = H \sqrt{\frac{k_s}{EI}}, \quad s = H \sqrt{\frac{k_s}{D}}, \quad m = \frac{\gamma}{EI} H^4 \omega^2 \quad (16\text{-الف، ب، ج، د})$$

شرایط مرزی انتهای گیردار و سر آزاد دیوار برشی کوپله به ترتیب در معادلات (17) و (18) ارائه شده اند:

$$\bar{\Psi}(1) = 0 \quad (17\text{-الف})$$

$$\frac{d \bar{\Psi}(1)}{d\xi} = 0 \quad (17\text{-ب})$$

$$\frac{d \bar{\Phi}(1)}{d\xi} = 0 \quad (17\text{-ج})$$

$$\frac{d^2 \bar{\Psi}(0)}{d\xi^2} = 0 \quad (18\text{-الف})$$

$$\frac{d^2 \bar{\Phi}(0)}{d\xi^2} = 0 \quad (18\text{-ب})$$

$$\frac{d^3 \bar{\Psi}(0)}{d\xi^3} - k^2 \left( \frac{d \bar{\Psi}(0)}{d\xi} - \frac{d \bar{\Phi}(0)}{d\xi} \right) = 0 \quad (18\text{-ج})$$

#### 4. گسسته سازی معادلات حاکم به روش DSC و اعمال شرایط مرزی

همانطور که از معادله (4) مشخص است، گسسته سازی معادلات حاکم به روش DSC مستلزم گره بندی محیط مساله است. از آنجایی که تقریب بکار رفته برای هر نقطه به مقادیر  $2m$  نقطه مجاور آن بستگی دارد، لازم است که گره بندی به تعداد  $m$  گره خارج هر دو مرز ادامه پیدا کند. بنابراین در صورتی که در محیط مساله  $n$  گره جهت مش بندی ایجاد گردد، تعداد کل گره ها  $n + 2m$  خواهد بود. از آنجایی که معادلات حاکم فقط برای  $n$  گره درون محیط مساله برقرار هستند، نوشتن معادلات برای این گره ها منجر به یک دستگاه  $n$  معادله،  $n + 2m$  مجهول می‌شود. برای کاهش مرتبه دستگاه بدست آمده به صورت یک دستگاه  $n$  معادله،  $n$  مجهول

و دستیابی به مقدار  $n$  مجهول حقیقی مساله، باید  $2m$  مجهول اضافه به صورت تابعی از مقادیر گره های داخلی تعیین شوند. این امر به کمک روابط مربوط به شرایط مرزی انجام می گردد. برای اعمال شرایط مرزی نیز باید بتوان مقدار  $m$  گره موهومی خارج هر دو مرز را به طریقی به مقادیر داخلی مرتبط نمود. بدین منظور از بسط تیلور استفاده شده است که رابطه مربوط به آن به شکل زیر است:

$$\Gamma(-\xi) = \Gamma(\xi) + \Gamma'(0)(-2\xi) + \Gamma''(0)\left(-\frac{\xi^3}{3}\right) \quad (19)$$

در رابطه (19)  $\Gamma$  می تواند هر یک از پارامترهای مجهول  $\bar{\Psi}$  یا  $\bar{\Phi}$  باشد.

به این ترتیب هر یک از شرایط مرزی حاکم در مساله به صورت زیر اعمال می شوند:  
شرایط مرزی سر آزاد:

با اعمال رابطه (4) در معادله (18-الف) رابطه زیر حاصل خواهد شد:

$$\frac{d^2\bar{\Psi}(0)}{d\xi^2} = \bar{\Psi}''(0) = \sum_{k=-m}^{k=m} B_{0k} \bar{\Psi}(\xi_k) = 0, \quad B_{0k} = \delta_{\Delta,\sigma}^2(0 - \xi_k) \quad (20)$$

با توجه به اینکه  $B_{0(-k)} = B_{0k}$  است، استفاده از رابطه (19) در معادله (20) منجر به معادله (21) خواهد شد:

$$\bar{\Psi}''(0) = \sum_{k=1}^{k=m} B_{0k} \left[ 2\bar{\Psi}(\xi_k) + \bar{\Psi}'(0)(-2\xi_k) + \bar{\Psi}'''(0)\left(\frac{-\xi_k^3}{3}\right) \right] + B_{00} \bar{\Psi}(0) = 0 \quad (21)$$

اگر رابطه (18-ج) به شکل معادله (22) بازنویسی شود، جایگذاری آن در رابطه (21) منجر به معادله (23) می - شود:

$$\bar{\Psi}'''(0) = k^2 \bar{\Psi}'(0) - k^2 \bar{\Phi}'(0) \quad (22)$$

$$\bar{\Psi}'(0) = \frac{B_{00} \bar{\Psi}(0) + \sum_{k=1}^{k=m} 2B_{0k} \bar{\Psi}(\xi_k) + k^2 \bar{\Phi}'(0)(BN)}{BH} \quad (23)$$

$$, \quad BN = \sum_{k=1}^{k=m} B_{0k} \frac{\xi_k^3}{3}, \quad BH = \sum_{k=1}^{k=m} B_{0k} (2\xi_k + k^2 \frac{\xi_k^3}{3})$$

چنانچه معادله (4) در معادله (18-ب) جایگذاری شود، معادله (24) بدست می آید:

$$\frac{d^2\bar{\Phi}(0)}{d\xi^2} = \bar{\Phi}''(0) = \sum_{k=-m}^{k=m} B_{0k} \bar{\Phi}(\xi_k) = 0, \quad B_{0k} = \delta_{\Delta,\sigma}^2(0 - \xi_k) \quad (24)$$

اگر بسط تیلور برای زوایای دوران فقط تا تقریب مشتق اول نوشته شود (معادله 25)، رابطه (26) به راحتی دست می آید:

$$\bar{\Phi}(-\xi) = \bar{\Phi}(\xi) + \bar{\Phi}'(0)(-2\xi) \quad (25)$$

$$\overline{\Phi}'(0) = \frac{B_{00}\overline{\Phi}(0) + \sum_{k=1}^{k=m} 2B_{0k}\overline{\Phi}(\xi_k)}{BM}, \quad BM = \sum_{k=1}^{k=m} B_{0k}(2\xi_k) \quad (26)$$

در این صورت با استفاده از روابط (22)، (23) و (26)، مشتق سوم تابع تغییر شکل در مرز را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\overline{\Psi}'''(0) = \frac{k^2 \left( B_{00}\overline{\Psi}(0) + \sum_{k=1}^{k=m} 2B_{0k}\overline{\Psi}(\xi_k) \right) + k^2\overline{\Phi}'(0)(BM)}{BH} \quad (27)$$

به این ترتیب با بکار گیری معادلات (23)، (26) و (27) در رابطه (19) می توان مقادیر کلیه گره های خارج مرز سر آزاد را به صورت تابعی از گره های داخلی نوشت. شرایط مرزی انتهای گیردار:

با بسط متقارن مقادیر تغییر شکل در نقاط خارجی،  $\overline{\Psi}$ ، نسبت به نقاط داخلی به راحتی می توان معادله (17-ب) را اعمال نمود. برای برقراری رابطه (17-ج) نیز می توان از بسط متقارن مقادیر زاویه دوران نقاط خارجی،  $\overline{\Phi}$ ، نسبت به نقاط داخلی استفاده نمود. مساله چالش برانگیز زمانی در این مرز رخ می دهد که معادله (17-الف) اعمال گردد. در این صورت تعداد مجهولات مربوط به تغییر شکل دیوار برشی کوبله نسبت به مجهولات مربوط به زاویه دوران یکی کمتر خواهد شد. زیرا مقدار تغییر شکل در مرز گیردار مطابق این معادله صفر است. حال آنکه زاویه دوران در این مرز جزء مجهولات مساله به شمار می آید. جهت رفع این مشکل می - بایست شرایط مرزی معادلات (17) را در معادله (15) اعمال نمود. به این ترتیب معادله (15) به شکل زیر در خواهد آمد:

$$\frac{d^3\overline{\Phi}(0)}{d\xi^3} = 0 \quad (28)$$

با اعمال معادله (4) در رابطه (28)، معادله (29) بدست خواهد آمد:

$$\frac{d^3\overline{\Phi}(0)}{d\xi^3} = \overline{\Phi}'''(0) = \sum_{k=-m}^{k=m} C_{0k}\overline{\Phi}(\xi_k) = 0, \quad C_{0k} = \delta_{\Delta,\sigma}^3(0 - \xi_k) \quad (29)$$

از آنجایی که  $C_{0(-k)} = -C_{0k}$  است و در مورد  $\overline{\Phi}$  ها بسط متقارن بین نقاط درونی و بیرونی مرز برقرار می - باشد، معادله (29) منجر به رابطه زیر می گردد:

$$\overline{\Phi}(0) = 0 \quad (30)$$

به این ترتیب با اعمال شرایط مرزی در ماتریس ضرایب DSC، معادلات (14) و (15) را می توان به شکل زیر نوشت:

$$([D_{\overline{\Psi}}] - k^2[B_{\overline{\Psi}}])\{\overline{\Psi}\} + k^2[B_{\overline{\Phi}}]\{\overline{\Phi}\} = -m[I]\{\overline{\Psi}\} \quad (31)$$

$$([C_{\overline{\Phi}}] - s^2[A_{\overline{\Phi}}])\{\overline{\Phi}\} = -s^2[A_{\overline{\Psi}}]\{\overline{\Psi}\} \quad (32)$$

در معادلات بالا  $A, B, C$  و  $D$  ماتریس های ضرایب DSC هستند که شرایط مرزی در آنها اعمال شده است. با جایگذاری معادله (32) در معادله (31)، رابطه (33) بدست خواهد آمد که مقادیر ویژه آن همان فرکانسهای بی بعد دیوار برشی کوپله می باشد.

$$\left( [D_{\bar{\Psi}}] - k^2 [B_{\bar{\Psi}}] - k^2 [B_{\bar{\Phi}}] \frac{s^2 [A_{\bar{\Psi}}]}{[C_{\bar{\Phi}}] - s^2 [A_{\bar{\Phi}}]} \right) \{\bar{\Psi}\} = -m [I] \{\bar{\Psi}\} \quad (33)$$

## 5. نتایج عددی

به منظور بررسی کارایی روش DSC در آنالیز ارتعاش آزاد دیوارهای برشی کوپله و صحت سنجی روش پیشنهادی در اعمال شرایط مرزی سر آزاد دیوار، سه مدل مختلف مورد تحلیل قرار گرفتند. دیوارهای برشی کوپله 1 و 2 دو مدل یک دهانه با ارتفاع 56 و 36 متر هستند. مشخصات هندسی و سازه ای این دو مدل در جدول (1) نشان داده شده است.

فرکانسهای بی بعد دیوار برشی کوپله حاصل از روش پیشنهادی با روش متداول المان محدود در جدول (2) مقایسه شده اند. همانطور که مشخص است نتایج بدست آمده از روش DSC مطابقت مناسبی با روش FE دارد.

جدول (1): مشخصات هندسی و مکانیکی دیوار برشی کوپله

مدل 2	مدل 1	
$2.1 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$	$3.6 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$	مدول یانگ
0.15	0.15	ضریب پواسون
$2.4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$	$2.4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$	چگالی جرمی
12	20	تعداد طبقات
36 m	56 m	ارتفاع کل سازه
0.5 m	0.3 m	ضخامت دیوار سمت چپ
7.0 m	5.0 m	عرض دیوار سمت چپ
0.5 m	0.3 m	ضخامت دیوار سمت راست
6.0 m	7.0 m	عرض دیوار سمت راست
0.5 m	0.3 m	عرض تیر اتصال
0.45 m	0.4 m	ارتفاع تیر اتصال
1.8 m	2.0 m	طول تیر اتصال

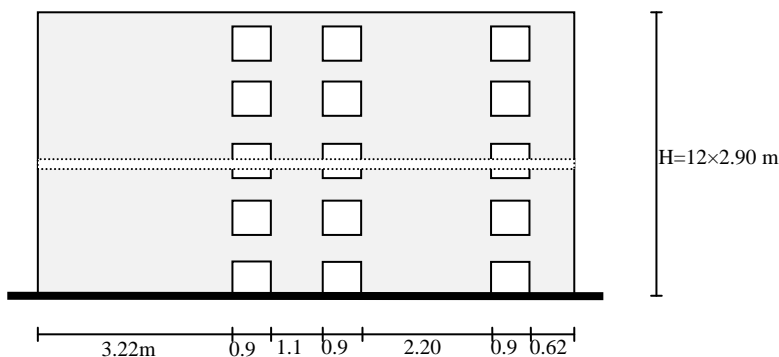


نمونه دیگری که مورد بررسی قرار گرفت، یک دیوار برشی با سه دهانه و دوازده طبقه می باشد که در شکل (2) نشان داده شده است. خصوصیات هندسی و مکانیکی دیوار برشی شامل مدول الاستیسیته، چگالی، ارتفاع تیرهای اتصال و ضخامت دیوارها به ترتیب  $20 \times 1010 \text{ N/m}^2$ ،  $24 \text{ KN/m}^3$ ، 31 و 16 سانتیمتر لحاظ گردیده است.

جدول 2- فرکانسهای بی بعد دیوارهای برشی کوپله 1 و 2

مدل 2		مدل 1		شماره مد نوسانی
FE[9]	DSC	FE[9]	DSC	
19.97	19.76	13.09	12.90	1
82.15	84.27	55.55	58.03	2
191.00	195.24	129.00	133.42	3
313.64	327.56	224.90	241.12	4

جدول (3) فرکانسهای بی بعد حاصل از سه روش DSC، FE و DQ را برای این مدل ارائه می دهد. همانطور که مشخص است در این مورد نیز جوابهای حاصل از روش همپچی منفرد گسسته انطباق بسیار مناسبی با سایر روشهای عددی دارد.



شکل (2): دیوار برشی کوپله سه دهانه و 12 طبقه

جدول (3): فرکانسهای بی بعد دیوارهای برشی کوپله با سه دهانه و دوازده طبقه

DQM[11]	FE[10]	DSC	شماره مد نوسانی
3.070	3.030	3.036	1
12.288	12.004	12.091	2
26.536	25.969	25.974	3
42.739	42.884	42.863	4

## 6. خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله آنالیز ارتعاشی دیوارهای برشی کوپله با استفاده از الگوریتم جدید همپچی منفرد گسسته مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا برای اولین بار راهکاری جهت اعمال شرایط مرزی این المان های سازه ای در فرمول بندی روش DSC ارائه گردید. به منظور صحت سنجی راهکار پیشنهادی، فرکانسهای بی بعد حاصل از تحلیل صورت گرفته بر روی مدل های مختلف با نتایج روش های عددی متداول FE و DQM مقایسه شدند. انطباق مناسب فرکانسهای حاصله از روش DSC با نتایج دو روش عددی دیگر، مبین دقت و توانایی راهکار پیشنهادی در آنالیز ارتعاشی دیوار های برشی کوپله با استفاده از الگوریتم DSC می باشد.

## 9. مراجع

- [1] Wei, G.W. "Discrete singular convolution for the Fokker-Planck equation", *J. Chem. Phys.* 110, 8930-8942, 1999.
- [2] Wei, G. W. "Discrete singular convolution for beam analysis". *Eng Struct*; vol. 23, pp. 1045-53, 2001.
- [3] Zhao, S., Wei, G. W., Xiang, Y. "DSC analysis of free-edged beams by an iteratively matched boundary method", *Journal of Sound and Vibration*. Vol. 284, pp. 487-493, 2005.
- [4] Xinwei, W., Suming, X. "Free vibration analysis of beams and rectangular plates with free edges by the discrete singular convolution", *Journal of Sound and Vibration*. Vol. 329, pp. 1780-1792, 2010.
- [5] Suming, X., Xinwei, W. "Free vibration analyses of Timoshenko beams with free edges by using the discrete singular convolution", *Advances in Engineering Software*. Vol. 42, pp. 797-806, 2011.
- [6] Wei, G.W., "Solving quantum eigenvalue problems by discrete singular convolution", *J. Phys. B*. Vol. 33, pp. 343-359, 2000.
- [7] Wei, G.W. "Vibration analysis by discrete singular convolution", *J. Sound Vibration*. Vol. 244, pp. 535-553, 2001.
- [8] Zhao, Y.B., Wei, G.W., Xiang, Y. "Discrete Singular Convolution for the Prediction of High Frequency Vibration of Plates", *Int. J. Solids, structures*. Vol. 39, pp. 65-88, 2002.
- [9] Takabatake, H. "Two- dimensional rod theory for approximate analysis of building structures", *Earthq. Struct.* Vol. 1, pp. 1-19, 2010.
- [10] Aksogan, O., Bikce, M., Emsen, E. and Arslan, H.M. "A simplified dynamic analysis of multi bay stiffened coupled shear walls", *Adv. Eng. Softw.* Vol. 38, pp. 552-560, 2007.
- [11] Bozdogan. K.B. "Differential quadrature method for free vibration analysis of coupled shear walls", *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 41, pp. 67-81, 2011.