



## بهینه یابی پیکره بندی مهاربندها در قابهای سه بعدی فولادی با استفاده از روش ترکیب ضرائب جریمه و الگوریتم ژنتیک

محمد علی قاسمی<sup>۱</sup>

magh\_slmi@yahoo.com

### خلاصه

برای کاهش فاصله مرکز سختی با مرکز جرم و کاهش اثرات پیچش توصیه‌هایی راجع به معماری و شکل پلان سازه، توزیع کاربری و یا مکان نمایی اجزاء باربر جانبی می‌شود. تمام این توصیه‌ها سعی دارند تا با ایجاد تقارن در پلان و ارتفاع مرکز جرم را به مرکز سختی نزدیک کنند. در این مقاله سعی شده است تا با استفاده از روش بهینه سازی با کمک الگوریتم ژنتیک (GA)، محل بادبندها در یک قاب سه بعدی را به نحوی تعیین کنیم که فاصله مرکز جرم هر طبقه، با مرکز سختی آن از یک حد معینی کوچکتر بوده و وزن قاب مهاربندی شده به حداقل مقدار ممکن برسد.

کلمات کلیدی: الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی، خروج از مرکزیت، قاب سه بعدی، مهاربند.

### مقدمه

نیروهای جانبی از جمله نیروهایی هستند که در هنگام طراحی به آنها توجه زیادی می‌شود. این نیروها عموماً بوسیله سیستمهای باربر جانبی کنترل می‌شوند. محل فرضی اعمال اثر نیروهای جانبی در هر طبقه، مرکز جرم آن طبقه در سازه است. مرکز جرم هر طبقه، مکانی است که می‌توان فرض کرد که تمام جرم طبقه در این مکان متمرکز شده است. بعد از اعمال نیروی جانبی سیستم باربر جانبی با مقاومتی که از خود نشان می‌دهد نیروهای جانبی را به شکلی مطمئن به سمت پی انتقال می‌دهد. عکس العملی که از طرف سیستم باربر جانبی در هر طبقه در برابر نیروی زلزله ایجاد می‌شود را می‌توان به شکل نیرویی که در مرکز سختی (صلبیت) متمرکز شده است متصور شد. "مرکز سختی (صلبیت) برای یک سازه چند طبقه (با فرض رفتار الاستیک خطی) عبارتند از نقاطی که وقتی برابند نیروهای جانبی حاصل از زلزله در آن نقاط فرض شوند، چرخشی در هیچ یک از طبقات سازه اتفاق نمی‌افتد" [استاندارد ۲۸۰۰]. در عمل برای سازه‌هایی که طراحی و اجرا می‌شوند مرکز سختی با مرکز جرم در طبقات بر هم منطبق نبوده و این اختلاف سبب تولید پیچش در سازه می‌شود.

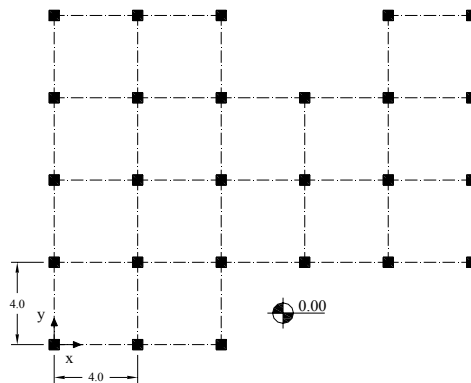
برای کاهش فاصله مرکز سختی با مرکز جرم و کاهش اثرات پیچش توصیه‌هایی راجع به معماری و شکل پلان سازه، توزیع کاربری و یا مکان نمایی اجزاء باربر جانبی می‌شود. تمام این توصیه‌ها سعی دارند تا با ایجاد تقارن در پلان و ارتفاع مرکز سختی را به مرکز جرم نزدیک کنند. اما در عمل اجرای سازه‌هایی با پلان نامنظم امری اجتناب ناپذیر است. در چنین شرایطی به جهت سنگین بودن محاسبات و درگیری زیاد پارامترهای طراحی امکان نزدیک کردن مرکز سختی به مرکز جرم در طبقات متفاوت تا یک حد کوچک و قابل قبول وجود ندارد. در چنین شرایطی وجود بازشو در قابها یا نیروی کششی ایجاد شده در پی‌ها مشکل را دو چندان می‌کنند. به همین جهت مسئله به ساده‌ترین و در عین حال به شکلی غیر اقتصادی حل می‌شود. در این شرایط سیستمهای باربر جانبی در مکانهایی که کمترین مشکل معماری و بازشو وجود دارد قرار گرفته و به جهت پیچشی که بوجود می‌آید از پروفیل‌های بزرگتری استفاده می‌شود. یعنی مشکل وجود پیچش با پرداخت یک هزینه اضافی از بین می‌رود.

### بیان مسئله

همواره یکی از خواسته‌های طراح سازه، اقتصادی و بهینه کردن طرح خود تا حد امکان است. عمل بهینه نمودن نیز در شرایطی پذیرفتنی است که سازه بهینه شده از لحاظ اطمینان و ایمنی قابل قبول بوده و در غیر اینصورت طرح ارائه شده دارای ارزش و کاربرد نیست. در عمل تا دهه‌های قبل برای سازه‌های بزرگ این خواسته تا حدود زیادی مشکل و حتی در بعضی موارد غیر قابل دسترس بوده است. بزرگترین مشکلی که به عنوان یک طراح برای بهینه نمودن یک سازه با آن درگیر هستیم را می‌توان موارد زیر دانست.

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد سازه از دانشگاه شیراز

- ۱- تابع هدفی که قصد بهینه کردن آنرا داریم، به صورت صریح در دست نیست.
  - ۲- توابع قیودی که قصد داریم برای سازه بهینه نقض نشده باشند، به صورت صریح موجود نیستند.
  - ۳- نتایج طراحی به نتایج تحلیل وابسته بوده و برعکس.
  - ۴- رابطه بین متغیرهای طراحی (که در مسئله ما همان سطح مقاطع هستند) کاملاً ثابت و معلوم نیست.
- در دهه‌های اخیر با تکامل رایانه‌ها و ابزارهای محاسبه سریع و گسترش روشهای عددی در زمینه‌های بهینه‌سازی و عناصر محدود (Finite Element)، برای حل مسائل بهینه‌سازی سازه‌ها، روزهایی از امید حاصل شده است. در این بررسی نیز با استفاده از الگوریتم ژنتیک سعی می‌شود تا یک مسئله از پیش تعیین شده را در دو شرایط جداگانه مورد بررسی قرار داده و به یک سری از نتایج برسیم. در حالت اول سعی می‌شود تا مکان بادندها در سازه‌های مورد بررسی به شکلی پیدا شود که با یک تیرانس مشخص، مرکز سختی به مرکز جرم نزدیک شده و سازه بهینه بدست آید. اما در حالت دوم توجه به مقدار خروج از مرکزیت، مکان بادندها برای سازه بهینه بدست می‌آید. با استفاده از نتایج این دو و مقایسه آن با یک سازه‌ای که محل قرار گیری بادندهای آن به شکل متعارف است، می‌خواهیم به سوالات زیر پاسخ دهیم.
- ۱- نزدیک کردن مرکز جرم به مرکز سختی در طبقات یک سازه، تا یک حد قابل قبول امکان‌پذیر است؟
  - ۲- رابطه بین جوابی که از حل مسئله با در نظر گرفتن مقدار خروج از مرکزیت بدست می‌آید و جوابی که از حل مسئله بدون در نظر داشتن مقدار خروج از مرکزیت بدست می‌آید چگونه است؟
  - ۳- نحوه همگرایی در دو حالت فوق چگونه است؟
  - ۴- نتیجه‌ای که از دو حالت بدست می‌آید با حالت عرفی یکسان است؟
  - ۵- بهترین چیدمانی که باعث حداقل وزن اجزاء فولادی می‌شود، معادل سازه‌ای با حداقل مقدار خروج از مرکزیت است؟
  - ۶- در روند بهینه شدن و کاهش وزن سازه، مقدار خروج از مرکزیت نیز کاهش می‌یابد؟
- تا آنجایی که نگارنده بررسی نموده است، تحقیقات زیادی روی مکان یابی بادندها در سازه‌های سه بعدی انجام نگرفته است و این کار برای اولین بار انجام می‌گیرد. پلان سازه فولادی که قرار است بررسی شود در شکل (۱) مشخص شده است. در هر دو راستای این سازه برای تحمل بار جانبی، سیستم باربر جانبی به شکل قاب ساختمانی ساده با مهاربندهای هم محور فولادی و برای افزایش سرعت برنامه اتصالات تیر به ستون، مفصلی در نظر گرفته شده است. از جابجایی نسبی درون صفحه‌ای نقاط واقع در سقف طبقات، صرف‌نظر شده است. و قرار است این بررسی‌ها بر روی سازه‌هایی با ۱، ۲ و ۳ طبقه با پلان مشخص شده در شکل (۱) انجام گرفته و سازه بهینه در هر مورد بدست آمده و با سازه متعارف مقایسه شود.



شکل (۱). پلان سازه تحت بررسی.

### تابع هدف و تابع شایستگی

در این مسئله هدف از بررسی، بهینه کردن و اقتصادی نمودن طرح و در ضمن کاهش هزینه‌هاست. به جهت اینکه کار کردن با یک تابع هدف در مقایسه با در نظر گرفتن چند تابع بسیار راحت‌تر است، به همین جهت تنها پارامتر وزن به عنوان تابع هدف انتخاب شد. در روند مسئله‌سازی تنها وزن تیر، ستون و بادنبد به عنوان عواملی که وزن (هزینه) سازه تابعی از آنهاست، در نظر گرفته شده است. برای کاهش زمان اجرای برنامه، از طراحی اتصالات و هزینه آنها صرف نظر شده و فرض شده است که اتصالات مصرفی تابعی از پروفیل‌هایی است که به هم متصل شده‌اند، لذا کاهش وزن یا همان کاهش شماره پروفیل‌های مصرفی متناظر با کاهش هزینه‌های مصرفی برای اتصالات است. به عبارت دیگر هزینه مصرفی برای اتصالات به صورت ضربی از وزن سازه در نظر گرفته شده است. وزن سازه در طول بهینه‌سازی با رابطه (۱) تعیین می‌شود.

$$W = \sum_{i=1}^{N_e} A_i \cdot L_i \cdot \gamma_{St} \quad (1)$$



در این رابطه اندیس  $i$  معرف شماره المانی از سازه مورد بررسی است.  $A_i$  و  $L_i$  به ترتیب نشانگر سطح مقطع و طول عضو برای المان  $i$  است. طول المان هم برابر فاصله مستقیم بین دو گرهی است که المان به آنها محدود است.  $\gamma_{st}$  وزن مخصوص فولاد است که در این بررسی برابر با  $(kg/m^3)$  ۷۸۵۰ در نظر گرفته شده است. و  $N_e$  تعداد المانهای سازه است که این مقدار برای مسئله ما در جدول (۱) ذکر شده است.

جدول (۱). تعداد متغیرها برای حالت‌های ۱، ۲ و ۳ طبقه.

تعداد طبقه	تعداد متغیرها			
	تعداد تیر	تعداد ستون	تعداد بادبند	تیر+ستون+بادبند ( $N_e$ )
۱	۴۰	۲۶	۸	۷۴
۲	۸۰	۵۲	۱۶	۱۴۸
۳	۱۲۰	۷۸	۳۲	۲۳۰

تابع هدف تابعی است که حداقل ساختن آن مطلوب و خواسته ماست. اما به جهت وجود قیود الگوریتم ژنتیک نیازمند تابع دیگری به نام تابع شایستگی است. در واقع الگوریتم ژنتیک فرد بهینه را فردی می‌شناسد که، دارای شایستگی بالاتری باشد. تابع شایستگی با رابطه زیر محاسبه می‌شود [1].

$$fitness_j = W_j + Q_j \quad (2)$$

این تابع از دو مقدار تابع هدف ( $W$ ) و مقدار جریمه ( $Q$ ) برای فرد مورد بررسی ( $J$ ام) تشکیل شده است. الگوریتم ژنتیک به تنهایی قادر به حل مسائل مقید نیست و بعد از ترکیب شدن با روشهایی مانند ضریب جریمه قادر به حل مسائل مقید می‌شود. در این شرایط به هر فرد اجازه داده می‌شود تا هر قیدی را زیر پا بگذارد، اما باید جریمه‌ای را برای زیر پا گذاشته شدن قید بپردازد. نکته‌ای که در شرایط جدید وجود دارد این است که، مقدار جریمه را چقدر و چگونه باید تعیین کرد؟

در روشهای معمولی هنگام ترکیب کردن ضریب جریمه با ژنتیک الگوریتم، نحوه بدست آوردن مقدار مناسب برای ضریب جریمه بدین شکل است که، مسئله را برای چندین مقدار متفاوت ضریب جریمه حل نموده و سپس بهترین فردی که به ازاء ضریب جریمه متفاوت بدست می‌آید را به عنوان بهترین فرد و ضریب جریمه متناظر را به عنوان ضریب جریمه مناسب معرفی می‌کنند. نکته مهم در این مورد این است که در این شرایط نیز به جهت بالا بودن مقدار متغیرها، درگیری زیاد بین متغیرها و ... نمی‌توان هیچ تضمینی در درست بودن مقدار ضریب جریمه بدست آمده با این روش را نمود. به این موضوع و اهمیت آن در مقاله‌ای که بوسیله [2] Wul and Lin ارائه شده، اشاره شده است.

در این تحقیق برای محاسبه مقدار ضریب جریمه مناسب از روش ضرایب جریمه خودسازگار استفاده شده است. در این روش، مقدار ضریب جریمه نیز به عنوان یکی از متغیرهای مسئله وارد مسئله بهینه‌سازی شده و در امتداد نسلهایی که سعی در بهینه نمودن تابع هدف دارند، مقدار ضریب جریمه هم بهینه می‌شود. مقداری که با این روش برای ضریب جریمه بدست می‌آید به کوچکترین مقدار ممکن (مطابق با خواسته تئوری حداقل مقدار جریمه) محدود می‌شود. مقداری که برای ضریب جریمه بدست می‌آید اجازه می‌دهد تا هم فضای داخل ناحیه قابل قبول و هم فضایی که در آنها نقض شدگی بعضی از قیود وجود دارد، بررسی شود. بدین جهت می‌توان اطمینان بیشتری به جواب بدست آمده برای مسئله اصلی بوسیله این روش را داشت. از دیگر محاسن این روش اینست که، چون برای بررسی تابع هدف از چند جمعیت جداگانه استفاده می‌شود، نتیجتاً چندین فضای متفاوت به صورت همزمان مورد بررسی قرار می‌گیرد که این هم خود یکی دیگر از دلایل قدرت گرفتن این روش است. علاقمندان می‌توانند اصول و مبانی این روش را در منبع [1] مشاهده نمایند.

### تابع قیود

براحتی می‌توان گفت که تمام مسائل بهینه‌سازی، که بطور عملی و کاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرد مقید به یک سری از قیود و روابط هستند. و در نهایت برای سازه بهینه شده بخشی و یا تمام این قیود فعال بوده و در بیشتر مواقع با برداشته شدن این قیود، مقدار تابع هدف بهبود پیدا کرده و محل جواب بهینه تغییر خواهد کرد. نحوه تشکیل و یا انتخاب قیود به ماهیت مسئله و تجربیات طراح بستگی دارد. اما نکته‌ای که در این مورد می‌توان بیان کرد این است که فرد بهینه نبایست هیچ کدام از قیود را نقض کرده باشد در غیر اینصورت طرح بهینه بدست آمده طرح پذیرفتنی نبوده و هیچ ارزش اجرایی ندارد.

در این تحقیق چون هدف نهایی آن منطبق کردن مرکز سختی بر مرکز جرم و بهینه نمودن همزمان یک سازه است لذا سازه‌ای که قرار است به عنوان فرد بهینه بدست آید، می‌بایست طرحی باشد که روابط آیین‌نامه طراحی خاصی را ارضاء نماید تا بتوان از جواب بهینه و نحوه همگرایی آن به سمت جواب بهینه نتیجه گیری انجام داد و گرنه از جواب بدست آمده هیچ نکته‌ای قابل استنتاج نیست. به عبارت دیگر حتی اگر برای فرد بهینه مرکز سختی کاملاً به مرکز جرم منطبق شده باشد اما تنش در بعضی از المانها آن بیشتر از تنش مجاز مطابق روابط آیین نامه برای آن المان بوده و یا نقض شدگی جابجایی در ارتفاع را داشته باشیم، چون فرد بهینه دارای ارزش اجرایی نیست قطعاً از روی این فرد یا نحوه همگرایی آن هم نمی‌توان چیزی را ثابت کرد. به همین جهت در انجام این بررسی یکی از مهمترین و در عین حال مشکل‌ترین بخشهایی که بایست انجام می‌گرفت، در نظر داشتن و اعمال کردن قیود طراحی و بارگذاری لرزه‌ای بود. این قیود و شکل ابعاد مسئله بایست به گونه‌ای انتخاب می‌شد که هم هزینه محاسبات (با توجه به محدودیت در سیستم پردازش) در حد معقول باقی می‌ماند و هم اینکه به ماهیت کلی مسئله خدشه‌ای وارد نمی‌شد.



قیودی اصلی که برای این مسئله در نظر گرفته شده است را می‌توان در ۵ دسته قرار داد.

- دسته اول قیدها، تنش موجود در المانهاست. مقدار تنش در روی المانها به مقادیر تنش مجاز تعریف شده در آیین‌نامه AISC-ASD 89 محدود شده است.
- دسته دوم قیدها، جابجایی طبقات هستند. برای کنترل اثرات  $P-\Delta$  و کنترل جابجایی نسبی در زلزله سطح بهره‌برداری، جابجایی نسبی هر طبقه به  $0.015 m$  محدود شده است.
- دسته سوم قیدها، مقدار عکس‌العمل تکیه‌گاهی است. اگر در هنگام زلزله نیرویی که به پی‌ها وارد می‌شود کششی باشد، پی‌ها از زمین کنده شده و امکان ناپایداری کلی و یا جزئی سازه بشدت افزایش می‌یابد به همین جهت مقدار نیروی کششی ایجاد شده در پی (Uplift) به مقدار مشخصی محدود شده است.
- دسته چهارم قیدها، تعداد مهاربندها در هر طبقه است. تعداد مهاربند در هر طبقه برای هر قاب، به تعداد معین و از پیش تعیین شده محدود شده است.
- دسته پنجم هم برای اعمال کردن میزان خروج از مرکزیت در نظر گرفته شده است. این قید برای زمانی که قرار است در سازه بهینه مرکز سختی بر مرکز جرم منطبق باشد برابر با  $0.075\%$  در نظر گرفته شده است و برای شرایطی که قرار است بدون توجه به مقدار فاصله مرکز سختی از مرکز جرم فرد بهینه محاسبه شود این قید در نظر گرفته نشده است.
- برای طراحی سازه فولادی نیز از آیین‌نامه AISC-ASD89 استفاده شده است. و شکل این قیود با استفاده از روابط زیر اعمال شده است. پروفیل‌هایی که در جدولهای تیر، ستون و بادبند استفاده شده است همگی جزء مقاطع فشرده هستند و با توجه به دستورات این آیین‌نامه مقدار  $K = K_{xx} = K_{yy} = 1.0$  و  $C_m = C_{mxx} = C_{myy} = 0.85$  انتخاب شده است. مقدار تنش تسلیم فولاد ( $F_y$ ) برابر با  $2400 \text{ kg/cm}^2$  و مدول الاستیسیته ( $E$ ) برابر با  $21 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  در نظر گرفته شده است.
- با توجه به اینکه تمام پروفیل‌های موجود در جدول ستون و بادبند همگی پروفیل تک هستند بنابراین حتماً  $r_{yy} < r_{xx}$ . پس با این نکته و در نظر داشتن  $K = K_{xx} = K_{yy} = 1.0$  در روابط قیود از ساده سازی  $K_{yy} I_{yy} / r_{yy} = l_{yy} / r_{yy}$  استفاده شده است. در روابط قیود مقدار  $f_a$  مقدار تنش محوری،  $F_a$  مقدار تنش محوری مجاز، مقدار  $f_b$  مقدار تنش نرمال خمشی و  $F_b$  مقدار تنش خمشی مجاز مطابق تعاریف آیین‌نامه AISC-ASD89 است.

- اگر فشاری بوده و  $f_a / F_a \geq 0.15$  باشد، قیود عبارتند از:

$$g_1 = \frac{f_a}{F_a} + \frac{0.85 \times f_{bxx}}{(1 + f_a / F'_{exx}) \times F_{bxx}} + \frac{0.85 \times f_{byy}}{(1 + f_a / F'_{eyy}) \times F_{byy}} \leq 1.0 \quad ; \quad g_3 = \frac{l_{yy}}{300 \times r_{yy}} \leq 1.0 \quad (2)$$

$$g_2 = \frac{f_a}{0.6 \times F_a} + \frac{f_{bxx}}{F_{bxx}} + \frac{f_{byy}}{F_{byy}} \leq 1.0$$

- اگر فشاری بوده و  $f_a / F_a \leq 0.15$  باشد، تنها بررسی دو قید زیر کافی است.

$$g_1 = \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bxx}}{F_{bxx}} + \frac{f_{byy}}{F_{byy}} \leq 1.0 \quad ; \quad g_2 = \frac{l_{yy}}{300 \times r_{yy}} \leq 1.0 \quad (3)$$

- اگر کششی باشد، قیود عبارتند از:

$$g_1 = \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bxx}}{F_{bxx}} + \frac{f_{byy}}{F_{byy}} \leq 1.0 \quad ; \quad g_2 = \frac{f_{bxx}}{F_{bxx}} + \frac{f_{byy}}{F_{byy}} \leq 1.0 \quad ; \quad g_3 = \frac{l_{yy}}{300 \times r_{yy}} \leq 1.0 \quad (4)$$

مقدار  $F'_e$  مطابق تعریف آیین‌نامه AISC-ASD89 قابل محاسبه است.

### ترکیب بارهای اعمال شده

در این بررسی به منظور طراحی ستون و بادبندها چهار دسته بار در نظر گرفته شده است. این چهار دسته بار عبارتند از: ۱- بارهای مرده؛ ۲- بارهای زنده؛ ۳- بارهای ناشی از وزن سازه؛ ۴- بار زلزله. فرض شده است که سازه‌های مورد بررسی «با اهمیت متوسط» و بر روی خاک تیپ III در منطقه‌ای با «پهنه با خطر زیاد» مطابق با تعریف استاندارد ۲۸۰۰ قرار گرفته است. با توجه به مقدار بار مرده بار زنده و با استفاده از روابط روش تحلیل استاتیکی معادل بار زلزله برای هر طبقه از یک فرد محاسبه شده و به مرکز جرم آن وارد می‌شود.

با توجه به روابط و توصیه‌های آیین‌نامه AISC-ASD 89 در ترکیب بار و در نظر داشتن نامنظم بودن سازه و در نظر گرفتن صد در صد نیروی زلزله در هر امتداد با ۳۰٪ نیروی زلزله در امتداد دیگر به منظور کنترل سازه‌ها، ۹ ترکیب بار به شکل زیر، در نظر گرفته شده است.

$$I). DL + LL \quad ; \quad II). \alpha \times (DL + LL \pm E_{qx} \pm 0.3 \times E_{qy}) \quad ; \quad III). \alpha \times (DL + LL \pm 0.3 \times E_{qx} \pm E_{qy}) \quad (5)$$



در این روابط، DL بار مرده، LL بار زنده،  $E_{qx}$  بار زلزله در راستای X و  $E_{qy}$  بار زلزله در راستای Y بوده و هنگام محاسبه مقدار تنش در المانها مقدار  $\alpha$  برابر ۰/۷۵ و به هنگام محاسبه مقدار Uplift در پی‌ها مقدار  $\alpha$  برابر ۱ در نظر گرفته شده است. در این بررسی مقدار بار مرده برای تیرهای کناری برابر با  $1000 \text{ kgf/m}$  و برای تیرهای داخلی برابر با  $2000 \text{ kgf/m}$  و بار زنده نیز برای تیرهای کناری برابر با  $250 \text{ kgf/m}$  و برای تیرهای میانی برابر با  $500 \text{ kgf/m}$  در نظر گرفته شده است.

### متغیرهای بهینه‌یابی

در این بررسی مکان بادبندها در هر طبقه و در دو راستای X و Y همچنین پروفیل‌های اختصاص یافته به المانهای ستون و بادبند به عنوان متغیرهای بهینه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند. متغیرهایی که مربوط به موقعیت مکان بادبندها هستند از دهانه‌هایی که امکان قرارگیری بادبند در آنها وجود دارد، انتخاب می‌شوند و دهانه‌هایی که بوسیله کاربر به عنوان قید معماری معرفی شده‌اند، امکان قرارگیری بادبند در آنها وجود ندارد. در مرحله‌ای که مکان بادبندها انتخاب می‌شود، مکان بادبندها در طبقات و یا راستاهای متفاوت، روی هم تأثیر گذار نیست. یعنی در هر طبقه و در هر راستا به صورت کاملاً مستقل از طبقات و یا راستای دیگر مکان بادبندها در نسل اول تولید می‌شود و تا لحظه‌ای که برنامه به جواب مسئله می‌رسد این استقلال برای انتخاب شدن محل بادبندها وجود دارد.

متغیرهایی که وظیفه کنترل شماره پروفیل را دارند از میان جدولی از مقاطع که برای هر المان ستون و بادبند به صورت جداگانه در نظر گرفته شده، انتخاب می‌شوند. این پروفیل‌هایی در جداول (۲) موجود هستند. تعداد متغیرهای مربوط به المانهای تیر، ستون و بادبند برای این مسئله را با فرض داشتن ۴ دهانه بادبندخور در هر راستا برای هر طبقه، در هر سه حالت در جدول (۱) آورده شده است. مقادیر این جدول به خوبی ابعاد و بزرگای مسئله را نمایش می‌دهند.

جدول (۲): لیست پروفیل‌هایی که برای هر یک از اجزاء تیر، ستون و مهاربند جهت انتخاب بهترین مقطع بوسیله الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته شده است.

Beam	Column	Brace
IPE80	IPE80	U 50
IPE100	IPE100	U 60
IPE120	IPE120	U 65
IPE140	IPE140	U 80
IPE160	IPE160	U 100
IPE180	IPE180	U 120
IPE200	IPE200	U 140
IPE220	IPE220	U 160
IPE240	IPE240	U 180
IPE270	IPE270	U 200
IPE300	IPE300	U 220
IPE330	IPE330	U 240
IPE360	IPE360	U 260
IPE400	IPE400	U 280
IPE450	IPE450	U 300
IPE500	IPE500	U 320

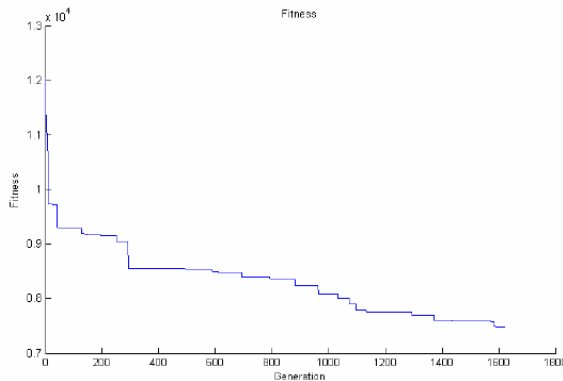
### نمونه‌های بررسی شده

تمام محاسبات با استفاده از نرم افزار نوشته شده به زبان Matlab انجام گرفته است. این برنامه بر اساس اصول الگوریتم ژنتیک نوشته شده است و در اینجا به جهت اختصار به این مبانی اشاره نمی‌شود اما علاقمندان می‌توانند این اصول را در منابع [4]، [5]، [6] و [7] مشاهده نمایند. با استفاده از برنامه یاد شده سازه‌های ۱، ۲ و ۳ طبقه با پلان مشخص شده در شکل (۱) مورد بررسی قرار گرفت. برای نمونه شکل همگرایی برای سازه یک طبقه در دو حالت اعمال شدن (شکل ۲الف) و اعمال نشدن خروج از مرکزیت (شکل ۲ب) آورده شده است. برای این دو مثال مکان بادبندها به طور یکسان بدست آمده است. و چیدمان بدست آمده در شکل (۳) آورده شده است. با توجه نحوه قرارگیری بادبندها (شکل ۳) و شکل همگرایی (شکل ۲)، کاملاً مشخص است که در نظر گرفتن قید خروج از مرکزیت روی زمان همگرایی و رسیدن به فرد بهینه تأثیر گذار بوده و زمان رسیدن به فرد بهینه را کاهش می‌دهد. به عنوان نمونه از تاریخچه تکامل برای یک سازه یک طبقه؛ پارامترهای مقدار شایستگی و میزان خروج از مرکزیت در جدول (۳) قید شده است.

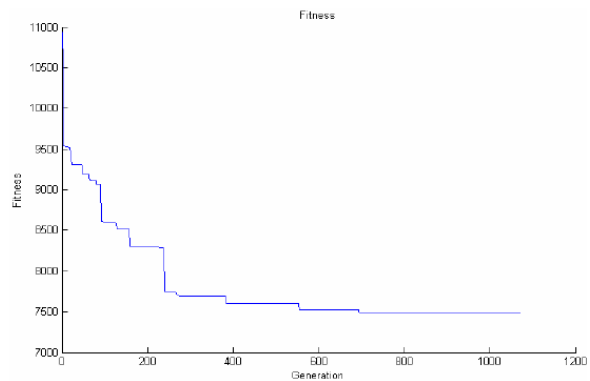
مقدار شایستگی و تعداد نسل تکرار شده برای رسیدن به جواب برای هر سه حالت در جدول (۴) آورده شده است. با توجه به این جدول دیده می‌شود که در نظر گرفتن مقدار خروج از مرکزیت در روند بهینه سازی هیچ تأثیری بر نتیجه بهینه سازی ندارد و مکان سازه بهینه را در فضای طراحی تغییر نمی‌دهد و تنها تأثیر در نظر گرفتن آن، بر سرعت همگرایی و به میزان قابل ملاحظه است. این موضوع را بدین صورت می‌توان تفسیر کرد که سازه بهینه سازه‌ای است که فاصله مرکز سختی آن با مرکز جرم برابر با حداقل مقدار ممکن باشد. در غیر این صورت بایست جوابی که برای سازه بهینه در حالت



تأثیر نداشتن خروج از مرکزیت در روند بهینه‌سازی به دست می‌آید، باید با سازه بدست آمده از حالت تأثیر داشتن خروج از مرکزیت در روند بهینه‌سازی متفاوت می‌بود. به عبارتی دیگر سازه بهینه‌سازی شده است که چیدمان بادبند در آنها موجب حداقل خروج از مرکزیت در سازه شود.

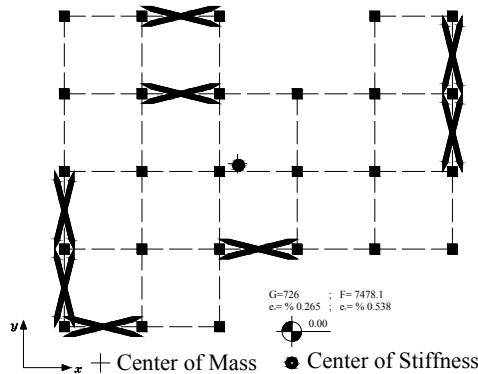


شکل ۲.ب



شکل ۲.الف

شکل (۲). روند همگرایی برای سازه یک طبقه، ۲.الف با اعمال خروج از مرکزیت، ۲.ب بدون اعمال خروج از مرکزیت.



شکل (۳). مشخصات طبقه اول برای بهترین فرد در نسل ۷۲۶ ام که جواب نهایی نیز است.

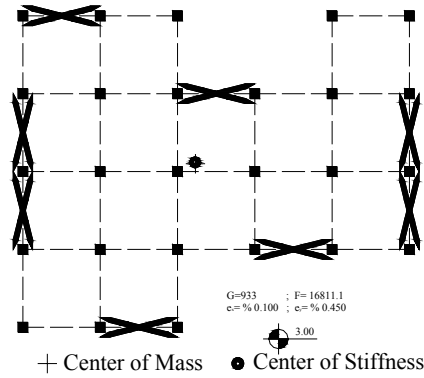
جدول (۳). تاریخچه همگرایی

شماره نسل	مقدار شایستگی (kg)	درصد خروج از مرکزیت در راستای x (e <sub>x</sub> )	درصد خروج از مرکزیت در راستای y (e <sub>y</sub> )
1	10938.3	18.10	22.36
65	9120.9	5.22	5.75
554	7526.0	0.41	0.75
726	7478.1	0.58	0.24

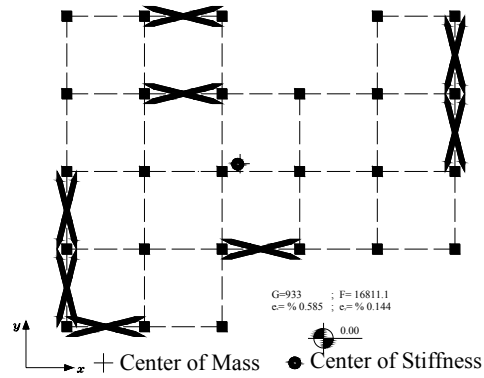
جدول (۴). مشخصات سازه‌های بهینه بدست آمده.

تعداد طبقه	تعداد نسل	بدون در نظر گرفتن خروج از مرکزیت		با در نظر گرفتن خروج از مرکزیت	
		مقدار شایستگی (kg)	تعداد نسل سازی	مقدار شایستگی (kg)	تعداد نسل سازی
۳	1	7478.1	1063	7478.1	463
	2	16811.1	1105	16811.1	933
	3	27453.5	1586	27453.5	1293

سازه‌های بهینه بدست آمده برای حالت ۲ طبقه در شکل‌های ۴.الف و ۴.ب و برای حالت ۳ طبقه در شکل‌های ۵.الف، ۵.ب و ۵.پ آورده شده است. همانگونه که در این شکلها مشخص است نحوه قرار گیری بادبندها با حالت عرفی که در یک دهانه خاص قرار دارد، یکسان نبوده و محل آن در ارتفاع تغییر می‌کند. نحوه تغییر در آن نیز همخوانی کاملی با نتایج بدست آمده بوسیله آقایان ماهری و صفری [3]، در مکان‌یابی بادبندها در قابهای دو بعدی انجام گرفته است، دارد.

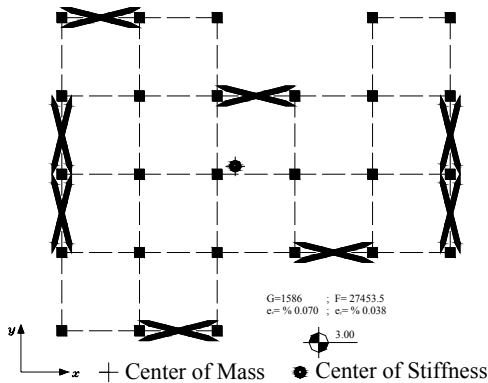


(ب.۴)

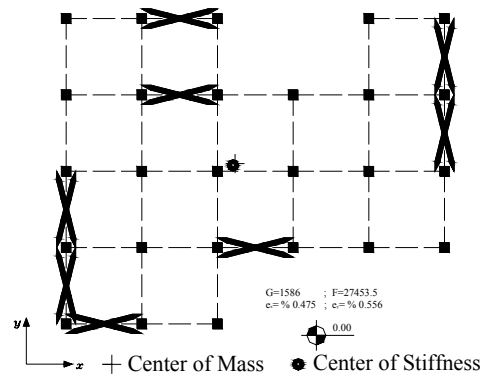


(الف.۴)

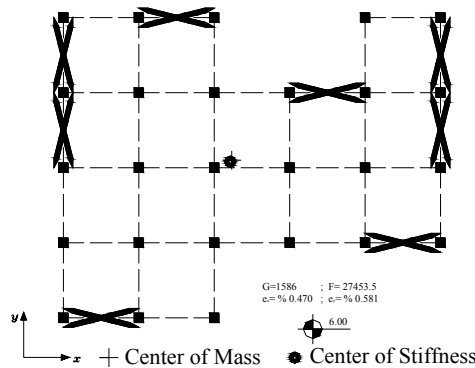
شکل (۴). تاریخچه همگرایی در سازه دو طبقه، (الف.۴) مشخصات طبقه اول برای بهترین فرد در نسل ۹۹۳ ام که فرد بهینه نیز می‌باشد، (ب.۴) مشخصات طبقه دوم برای بهترین فرد در نسل ۹۳۳ ام.



(ب.۵)



(الف.۵)

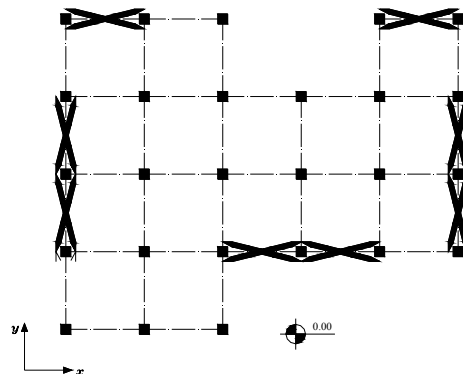


(ب.۵)

شکل (۵). تاریخچه همگرایی در سازه سه طبقه، (الف.۵) مشخصات طبقه اول برای بهترین فرد در نسل ۱۵۸۶ ام که بهترین فرد نیز می‌باشد، (ب.۵) مشخصات طبقه دوم برای بهترین فرد در نسل ۱۵۸۶ ام، (ب.۵) مشخصات طبقه سوم برای بهترین فرد در نسل ۱۵۸۶ ام.

طراحان در هنگام طراحی سازه و مکان‌یابی بادبندها، محل بادبندها را با توجه به یک مکان‌یابی تخمینی مشخص می‌نمایند. و به جهت سنگینی محاسبات تحلیل و طراحی از یک سو و تأثیر پارامترهای تحلیل و طراحی بر یکدیگر، سعی زیادی در مکان‌یابی صحیح بادبندها انجام نمی‌دهند. در بیشتر موارد نیز آرایش بادبندها در طبقات، زیر هم قرار می‌گیرند. یک نمونه از این چیدمانها در شکل (۶) مشخص شده است. به جهت مقایسه بین سازه بهینه بدست آمده بوسیله ما و سازه‌ای با چیدمان عرفی مانند چیدمانی شبیه شکل (۶) برای تمام طبقات آن، انجام گرفته است. در این بررسی برای سازه‌ای با چیدمان مشخص شده، سازه با شرایط بار گذاری و طراحی مشابه شرایط بار گذاری و طراحی در سازه بهینه، طراحی شده و مقدار وزن سازه و حداکثر مقدار نیروی کششی موجود در پی برای حالت‌های ۱، ۲ و ۳ طبقه محاسبه شده است. نتایج محاسبه شده و مقدار متناظر برای سازه بهینه بدست آمده بوسیله ما در جدول (۵) آورده شده است. با مقایسه نتایج می‌توان به راحتی تأثیر بهینه‌سازی را مشاهده نمود. کاملاً

مشخص است که تأثیرات بهینه سازی با افزایش طبقات، افزایش می‌یابد و مشخص است که چیدمان عرفی یک چیدمان مناسب نبوده و هر چه تعداد طبقات سازه بیشتر می‌شود چیدمان عرفی دارای مشکل بزرگتری مخصوصاً از ناحیه نیروی کششی موجود در پی می‌شود. این موضوع نیز قبلاً در مکان یابی مهاربندهای دو بعدی بدست آمده است.



شکل (۶). نحوه بادبند گذاری در سازه متعارفی (بادبند گذاری در تمام طبقات از این الگو پیروی می‌کند) که مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول (۵). مقایسه بین سازه متعارف و سازه بهینه.

تعداد طبقه	سازه بهینه		سازه متعارف	
	وزن (kg)	حداکثر نیروی کششی موجود در پی (ton)	وزن (kg)	حداکثر نیروی کششی موجود در پی (ton)
1	7478.1	1.7	7832.2	2.7
2	16811.1	7.4	17226.5	11.9
3	17453.5	18.3	28304.6	37.7

### نتیجه گیری

- با توجه به بحث بالا می‌توان موارد زیر را نتیجه گیری کرد.
- امکان نزدیک کردن مرکز سختی به مرکز جرم تا یک اندازه مشخص وجود دارد.
- سازه بهینه سازه‌ایی است که حداقل مقدار خروج از مرکزیت را داشته باشد.
- در روند بهینه سازی همواره با کاهش خروج از مرکزیت مقدار وزن نیز کاهش می‌یابد.
- چیدمان مهاربندها در سازه‌های بهینه با نحوه چیدمان در سازه‌های متعارف یکسان نیست.
- چیدمان مهاربند به شکل عرفی، چیدمان مناسبی نیستند.
- هر چه تعداد طبقات بیشتر می‌شود تأثیر بهینه سازی بیشتر می‌شود.
- با افزایش طبقات مشکل سازه‌های با چیدمان عرفی بادبند؛ مخصوصاً در ناحیه نیروی کششی ایجاد شده در پی؛ بیشتر می‌شود.

### مراجع

- 1 – Coello Coello, C. A. (2000). "Use of a self-adaptive penalty approach for engineering optimization problems." *Jr. of Computers in Industry* Vol. 41, pp. 113–127.
- 2 – Wen-Hong Wu1, Chyi-Yeu Lin, (2004). "The second generation of self-organizing adaptive penalty strategy for constrained genetic search." *J. Advances in Engineering Software*, Vol.35, PP. 815–825.
- 3 – Davood Safari & Mahmoud R Maheri, (2006), "Genetic Algorithm search for optimal brace position in steel frames", *J. of Advance Steel Construction (ASC)*.
- 4 – Z. Michalewicz. (1992). *Genetic Algorithm+Data Structuress = Evolution Programs*, 2nd edn. New York: Springer-Verlag.
- 5 – Adeli, H. and Hung, S.L. (1995). *Machine Learning: Neural Network, Genetic algorithm and Fuzzy Systems*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- 6 – Brandt, A. M. (1989). *Foundations of Optimum Design in Civil Engineering*. London: Martinus Nijhoff Publishers.
- 7 – Davis, L. (1991). *Handbook of Genetic Algorithms*. New York: Van Nostrand Reinhold.