

## بهینه‌سازی سازه‌های هایپربولیک چند لایه با استفاده از روش ترکیبی جستجوی ذرات باردار

امیر عباس پور

کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه، واحد صوفیان، دانشگاه آزاد اسلامی، صوفیان، ایران

سیامک طلعت اهری\*

دانشیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

Siamak.talat@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۰۵ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۲/۱۵

### چکیده:

سازه فضاکار عبارت است از سازه‌ای که از اجزای خرپا مانند سبک و محکم تشکیل شده از پایه‌هایی که در یک الگوی هندسی در کنار هم قرار گرفته‌اند. سازه فضاکار برای پوشش دادن دهانه‌های بزرگ بدون تکیه‌گاه میانی به کار می‌روند. در این مقاله، مسئله بهینه‌سازی همزمان شکل و اندازه سازه‌ی هایپربولیک سه‌لایه مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش، از الگوریتم ترکیبی جستجوی ذرات باردار-توده ذرات به عنوان الگوریتم بهینه‌سازی استفاده شده است و نتایج حاصل با نتایج الگوریتم توده ذرات مقایسه شده است. هدف از این تحقیق، یافتن وزن بهینه می‌باشد که متغیرهای طراحی در نظر گرفته شده ارتفاع و سطح مقطع می‌باشند. برای انجام این کار، سازه‌ی هایپربولیک سه لایه با نرم‌افزار سپ طراحی شده و سپس با الگوریتم‌های ترکیبی جستجوی ذرات باردار و توده ذرات بهینه‌سازی شده است. نتایج حاصل برتری الگوریتم ترکیبی جستجوی ذرات باردار-توده ذرات را نشان می‌دهد.

**کلید واژگان:** بهینه‌سازی، متغیرهای طراحی، سازه هایپربولیک، الگوریتم توده ذرات.

## ۱- مقدمه

سازه فضاکار یک سیستم خرابی سه بعدی است که دهانه‌های آن در دو جهت گسترش یافته‌اند و اعضای آن فقط تحت تاثیر کشش و فشار قرار دارند. این سازه‌ها از مدول‌های یکسان و تکرار شونده با لایه‌های موازی در بالا و پایین (مشابه میله‌های فوقانی و تحتانی خرپا) تشکیل می‌گردند و به هیچ ترتیبی نمی‌توان رفتار کلی سازه فضاکار را با استفاده از یک یا چند مجموعه مستقل دو بعدی تقریب زد. سازه هایپربولیک نیز نوعی از سازه فضاکار شبکه‌ای می‌باشد. شکل این سازه مانند یک شکل مربعی می‌باشد که با ثابت ماندن قسمت‌های وسط آن (مانند علامت +) گوشه‌های آن خم شده است.

امروزه سازه‌های فضاکار با توجه به مزایای آنها از جمله پوشاندن دهانه‌های بزرگ بدون ستون میانی توجه اغلب مهندسين را به خود جلب کرده است و ساخت و ساز این سازه‌ها بیشتر شده است. بنابراین فراوانی استفاده از این سازه‌ها، بهینه‌سازی آنها شامل مینیمم کردن وزن آنها می‌تواند نقش قابل ملاحظه‌ای در پایین آوردن هزینه‌ها ایفا کند.

بهینه‌سازی یک فعالیت مهم و تعیین‌کننده در طراحی ساختاری است. طراحان زمانی قادر خواهند بود طرح‌های بهتری تولید کنند که بتوانند با روش‌های بهینه‌سازی در صرف زمان و هزینه طراحی صرفه‌جویی نمایند. بسیاری از الگوریتم‌های فراابتکاری در سه دهه اخیر ارایه شده است که یک فرآیند تکاملی در زمینه بهینه‌سازی سازه می‌باشد.

با توجه به اینکه مطالعات زیادی در رابطه با بهینه‌سازی سازه‌ها با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری انجام شده بود، اما مطالعات زیادی در رابطه با بهینه‌سازی سازه‌های فضاکار وجود نداشت و مطالعات بیشتر راجع به بهینه‌سازی سازه‌های فضاکار ضروری به نظر می‌رسید. بنابراین، کاوه و همکارانش اولین محققانی بودند که مسئله‌ی طرح بهینه‌سازی سازه‌های چلیکی را فرمول‌بندی کردند [۳-۱].

در اولین تحقیق خود [۱]، دو سازه‌ی چلیکی تک‌لایه را با استفاده از روش‌های مختلف جستجوی ذرات باردار بهینه کردند. روش‌های مورد استفاده شامل استاندارد جستجوی ذرات باردار [۴]، جستجوی ذرات باردار بهبود یافته [۵]، جستجوی ذرات باردار مغناطیسی [۶] و شکل بهبود یافته جستجوی ذرات باردار مغناطیسی می‌باشد.

کاوه و افتخار طرح بهینه‌ی قاب‌های سازه فضاکار چلیکی را با استفاده از روش پیشرفته انفجار بزرگ - تراکم بزرگ مورد مطالعه قرار دادند که در آن یک سازه چلیکی یک لایه تحت شرایط بارگذاری متقارن و نامتقارن بهینه شده است [۲].

در مطالعه‌ای دیگر توسط کاوه و همکارانش تعدادی سازه‌های چلیکی یک‌لایه و چندلایه توسط روش جستجوی ذرات بار بهینه شدند [۳].

پس از تحقیقات کاوه و همکارانش در مورد سازه‌های فضاکار چلیکی، مطالعات چشم‌گیری با روش‌های مختلف بهینه‌سازی روی سازه‌های

فضاکار انجام شد که به چندین موارد از آنها اشاره می‌شود. از آنجایی که تعداد اعضای سازه‌های فضاکار زیاد بوده لذا قیود مورد نظر از قبیل تنش<sup>۱</sup>، کماتش<sup>۲</sup>، تغییر مکان<sup>۳</sup> که باید از نظر آیین نامه تایید شوند نیز زیاد است. این امر روند بهینه‌یابی را کند می‌کند. لذا، کلاتجاری و همکارانش [۷] در طی یک تحقیقی روشی پیشنهاد داده‌اند که در طی آن قسمتی از ژن‌ها که سبب نقض قید می‌شوند شناسایی شده و در طی فرآیندی اصلاح می‌شوند تا قیود مورد نظر اقلان شوند، بدین ترتیب روند بهینه‌یابی بسیار سریع‌تر صورت می‌پذیرد. شهابیان و همکارانش [۸] از الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای بهینه‌سازی سازه فضاکار چلیکی دو لایه استفاده کردند. بندگی و همکارانش [۹] از الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های مصنوعی برای بهینه‌سازی سازه فضاکار گنبدی شکل استفاده کردند. کوهستانی و همکارانش [۱۰] از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی شکل سازه‌های فضاکار گنبدی استفاده کردند. کوهستانی و فرهمندیور الگوریتمی ترکیبی از الگوریتم توده ذرات و الگوریتم سرد شدن شبیه‌سازی شده پیشنهاد کردند [۱۱]. در این الگوریتم، الگوریتم توده ذرات با استفاده از تبادل اطلاعات بین ذرات مختلف بهترین نواحی فضای جستجو را می‌یابد و الگوریتم سرد شدن شبیه‌سازی شده به جستجوی بیشتر در این مناطق می‌پردازد. در این الگوریتم به جای استفاده از تعداد زیاد ذرات به منظور جستجوی فضای مسئله تعداد آنها کاهش داده شده است. و در عوض بهترین مناطق یافته شده توسط آنها بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق، سازه‌های فضاکار خرابایی را با استفاده از روش پیشنهاد شده، بهینه کردند. کاوه و همکارانش [۱۲] از روش پیشرفته‌ی جستجوی ذرات باردار مغناطیسی برای طرح بهینه‌ی سازه‌های چلیکی دو لایه استفاده کردند. مشایخی و همکارانش [۱۳] از الگوریتم جستجوی ذرات باردار اصلاح شده و الگوریتم تکاملی سازه‌ها برای بهینه‌سازی توپولوژی سازه فضاکار تخت دو لایه استفاده کردند. طلعت‌اثری و جهانی [۱۴] از روش ترکیبی توده ذرات-جستجوی ذرات باردار برای بهینه‌سازی سازه‌های چلیکی تک‌لایه استفاده کردند.

در این مقاله، طرح بهینه‌ی سازه‌های فضاکار هایپربولیک سه‌لایه فرمول‌بندی می‌شود و توسط الگوریتم ترکیبی جستجوی ذرات باردار-توده ذرات بهینه‌سازی می‌شود و نتایج حاصل از آن با دیگر روش‌های بهینه‌سازی از جمله الگوریتم توده ذرات مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

## ۲- طراحی بهینه سازه هایپربولیک سه لایه

مسئله‌ی بهینه‌سازی همزمان شکل و اندازه سازه هایپربولیک چندلایه می‌تواند به صورت زیر فرموله شود:

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_n], h \quad (1)$$

متغیرهای گسسته

$$X_i \in D_i \quad (2)$$

$$h_{min} < h < h_{max} \quad (3)$$

برای کمینه کردن

<sup>1</sup> buckling  
<sup>2</sup> displacement

<sup>3</sup>  
<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Big Bang-Big Crunch  
<sup>2</sup> stress

<sup>1</sup>  
<sup>2</sup>

$F_{cr}$  تنش بحرانی، وابسته به کماتش خمشی اعضا می‌باشد و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{برای } \lambda_c = \frac{kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \leq 1.5 \quad F_{cr} = (0.658 \lambda_c^2) F_y \\ \text{برای } \lambda_c = \frac{kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} > 1.5 \quad F_{cr} = \left(\frac{0.877}{\lambda_c}\right) F_y \end{array} \right. \quad (12)$$

$L$  طول مهار نشده جانبی اعضا،  $k$  ضریب طول موثر،  $\Gamma$  شعاع ژیراسیون مربوط به کماتش محور،  $E$  مدول الاستیسیته،  $F_y$  حدائق تنش تسلیم مشخص.

### ۳- بارهای طراحی

شرایط بارگذاری استاتیکی: برخی از ملاحظات خاص برای شرایط بارگذاری سازه‌های فضاکار وجود دارد. در این تحقیق سه شرایط بارگذاری استاتیکی برای بهینه‌سازی این سازه‌ها در نظر گرفته شده که به صورت زیر بیان می‌شود [۱۵].

#### ۳-۱- بار مرده

مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان بارهای مرده عبارتند از: وزن اجزای ساختمان و وزن واقعی مصالح مورد استفاده و همچنین وزن تاسیسات و تجهیزات ثابت.

بار مرده<sup>۱</sup> برای سقف‌های سبک سازه‌های فضاکار بین ۵۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع و برای سقف‌های سنگین بیش از ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع در نظر گرفته می‌شود. در سازه‌ی مورد نظر ما مقدار این بار برابر ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع در نظر گرفته شده است.

بار مرده گسترده وارد بر سقف باید به صورت بار گرهی بر گره‌ها اعمال گردد، که از حاصلضرب تصویر سطح بارگیر هر گره در مقدار ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع حاصل می‌شود.

#### ۳-۲- بار برف

بار برف<sup>۲</sup> بر روی بام، با توجه به شیب و دمای بام، برف‌گیری و اهمیت سازه، برای هر متر مربع تصویر افقی سطح آن، به کمک رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$P_r = 0.7 C_s C_t C_e I_s P_g \quad (13)$$

$I_s$  ضریب اهمیت،  $C_e$  ضریب برف‌گیری،  $C_t$  ضریب شرایط دمایی،  $C_s$  ضریب شیب می‌باشند. بار برف  $P_r$  بیانگر بار برف متوازن می‌باشد که به عنوان یک امکان بارگذاری برف در نظر گرفته می‌شود.

ضریب شیب برای بام‌های شیب‌دار بر حسب زاویه شیب به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$(14) \quad \left\{ \begin{array}{ll} C_s = 1 & \alpha \leq 5^\circ \\ C_s = 1 - \frac{\alpha - 5^\circ}{65^\circ} & 5^\circ < \alpha < 70^\circ \\ C_s = 0 & \alpha \geq 70^\circ \end{array} \right.$$

با فرض اینکه سازه مورد نظر در شهر تبریز می‌باشد و با توجه به آیین‌نامه مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ضرایب بار را بدست آورده و بار برف را محاسبه کرده‌ایم، بخاطر متغیر بودن ارتفاع بار برف، پارامتری به صورت زیر بدست می‌آید:

$$Mer(X) = f_{penalty}(X) * W(X) \quad (4)$$

$X$  برداری است که شامل متغیرهای طراحی می‌باشد، برای مسئله طراحی بهینه گسسته، متغیرهای  $X_i$  از یک مجموعه مجاز از مقادیر گسسته انتخاب شده‌اند،  $n$  تعداد اعضای گروه،  $h$  ارتفاع سازه هایپربولیک به عنوان تنها متغیر شکل شناخته شده است،  $D_i$  مقدار گسسته مجاز برای متغیرهای طراحی است،  $h_{min}$  و  $h_{max}$  مقادیر حداقل و حداکثر ارتفاع مجاز هستند که به ترتیب  $\frac{S}{20}$  و  $\frac{S}{2}$  گرفته شده‌اند.  $S$  طول دهانه سازه هایپربولیک می‌باشد،  $Mer(X)$  تابع شایستگی می‌باشد،  $W(X)$  تابع هدف می‌باشد، که به عنوان وزن سازه در نظر گرفته می‌شود،  $f_{penalty}(X)$  تابع پناستی می‌باشد که از نقض قیدهای مربوط به پاسخ سازه منتج می‌شود.

تابع هدف سازه‌ی فضاکار هایپربولیک به منظور کمینه کردن وزن سازه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$W(X) = \sum_{i=1}^{nm} \gamma_i X_i L_i \quad (5)$$

$\gamma_i$  چگالی عضو  $i$ ،  $L_i$  طول عضو  $i$ ،  $X_i$  مساحت مقطع عرضی عضو  $i$ ، به عنوان متغیر طراحی است.

تابع پناستی می‌تواند به صورت زیر تعریف شود:

$$f_{penalty}(X) = (1 + \varepsilon_1 \sum_{j=1}^{np} v_j^{\varepsilon_2}) \quad (6)$$

اینجا  $np$  تعداد شرایط بارگذاری چندگانه، در این تحقیق  $\varepsilon_1$ ، یک در نظر گرفته می‌شود و  $\varepsilon_2$  در تکرار اول از فرآیند جستجو  $1/5$  در نظر گرفته می‌شود، و به تدریج تا ۳ افزایش می‌یابد.  $v^k$  جمع پناستی‌ها برای همه‌ی قیدهای اعمال شده برای ذره باردار  $k$ th می‌باشد که به صورت ریاضی به شکل زیر بیان می‌شود:

$$v^k = \sum_{i=1}^{nm} \max(v_i^d, 0) + \sum_{i=1}^{nm} \max(g_i, 0) \quad (7)$$

اینجا  $v_i^d$  و  $g_i$  جمع جابجایی و تنش فرمول پناستی‌ها که توسط معادلات زیر محاسبه می‌شوند.

می‌توان قید تنش را که برای عضو  $i$  ام با  $g_i$  نشان داده می‌شود، به صورت رابطه زیر بیان کرد:

$$g_i = \frac{f_i}{F_i} - 1 \quad (8)$$

$f_i$  تنش موجود در عضو  $i$  ام،  $F_i$  تنش مجاز عضو  $i$  ام.

$$v_i^d = \left| \frac{\delta_i}{\bar{\delta}_i} \right| - 1 \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, nn \quad (9)$$

$nn$  تعداد اعضای گره‌ها می‌باشد،  $\delta_i$  جابجایی گره‌ها و  $\bar{\delta}_i$  جابجایی مجاز می‌باشند.

مطابق با آیین‌نامه Lrfd، مقاومت اسمی کششی اعضا برابر است با:

$$P_n = F_y A_g \quad (10)$$

$A_g$  سطح مقطع ناخالص اعضا می‌باشد.

مقاومت فشاری اسمی اعضا کوچکترین مقدار می‌باشد که از حالت حدی کماتش خمشی، کماتش پیچشی و کماتش خمشی-پیچشی بدست می‌آید. برای اجزای متراکم یا غیرمتراکم، مقاومت فشاری اسمی اعضا برای حالت حدی کماتش خمشی به صورت زیر می‌باشد:

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (11)$$

<sup>1</sup> Snow load

<sup>1</sup> Dead load

الگوریتم CSS شامل تعدادی از ذرات بار می‌باشد که هر کدام مانند یک کره باردار رفتار می‌کند و می‌تواند نیروی الکتریکی به دیگر ذرات وارد کند [۴]. نحوه‌ی کار الگوریتم جستجوی ذرات باردار به صورت زیر خلاصه شده است:

گام اول: مقداردهی. بزرگی بار برای هر ذره باردار به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$q_i = \frac{fit(i) - fit_{worst}}{fit_{best} - fit_{worst}}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (20)$$

که در آن  $fit(i)$  تابع شایستگی ذره  $i$  خواهد بود و  $fit_{best}$  و  $fit_{worst}$  به ترتیب بهترین و بدترین توابع شایستگی در میان تمام ذرات می‌باشند،  $N$  تعداد کل ذرات موجود در الگوریتم را شامل می‌شود. فاصله بین دو ذره به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{\|x_i - x_j\|}{\left\| \frac{(x_i + x_j)}{2} - x_{best} \right\| + \varepsilon} \quad (21)$$

که در آن  $x_i$  و  $x_j$  موقعیت ذرات  $i$  و  $j$  هستند،  $x_{best}$  نشان‌دهنده موقعیت بهترین ذره با توجه به مقادیر توابع شایستگی بوده و  $\varepsilon$  یک مقدار بسیار کوچک برای جلوگیری از صفر شدن مخرج است. موقعیت اولیه ذرات باردار به طور تصادفی محاسبه می‌شود و سرعت اولیه ذرات باردار صفر فرض شده است.

گام دوم: تولید حافظه سیستم. تعدادی از بهترین ذرات باردار و مقادیر مربوط به توابع هدف آنها در حافظه سیستم ذخیره می‌شود.

گام سوم: تعیین نیروهای الکتریکی. احتمال حرکت هر ذره به سوی دیگر ذرات طبق فرمول زیر تعیین می‌شود:

$$p_{ij} = \begin{cases} 1 & \frac{fit(i) - fit_{best}}{fit(j) - fit(i)} > rand \cdot V \cdot fit(j) \\ 0 & \end{cases} \quad (22)$$

بنابراین، مقدار نیروی برآیند وارد برای هر ذره باردار از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$f_j = q_j \sum_{i \neq j} \frac{q_i}{r_{ij}^2} i_1 + \quad (23)$$

$$\frac{q_i}{r_{ij}^2} i_2 \left[ a r_{ij} p_{ij} (x_i - x_j) \right], \begin{cases} j = 1, 2, \dots, N \\ i_1 = 1, i_2 = 0 \Leftrightarrow r_{ij} < a \\ i_1 = 0, i_2 = 1 \Leftrightarrow r_{ij} \geq a \end{cases}$$

$f_j$  نیروی برآیند وارد بر ذره  $j$  می‌باشد،  $x_i$  و  $x_j$  موقعیت ذرات  $i$  و  $j$  هستند.

$$P_r = 124.39 - 20.36h \quad (15)$$

$h$  ارتفاع سازه هاپیروبولیک می‌باشد.

بارگذاری نامتوازن:

بارگذاری متوازن و نامتوازن برف بطور جداگانه در نظر گرفته می‌شوند. در نظر گرفتن بار نامتوازن برف برای بام‌های با شیب کمتر از ۴٪ و شیب بیشتر از ۶۰٪ لازم نیست. برای بام‌های با فاصله افقی کمتر از ۶ متر بین تاج و پای شیب با تیرهای با تکیه‌گاه ساده بین تاج و پای شیب، بار نامتوازن یکنواخت برف در حالت پشت به باد با شدت  $I_s P_g$  در نظر گرفته شده و قسمت رو به باد بدون بار برف در نظر گرفته شود. برای سایر بام‌ها، بار نامتوازن شامل بار گسترده  $0.3P_r$  در سمت بادگیر و در سمت پشت به باد  $P_r$  به اضافه سربار به شدت بر واحد سطح افقی برابر  $\gamma h_d \sqrt{i}$  و در فاصله افقی  $8h_d / (3\sqrt{i})$  از تاج شیب به سمت پای شیب خواهد بود.  $i$ ، بیانگر شیب سقف (تانژانت زاویه شیب) می‌باشد. ارتفاع انباشت برف،  $h_d$ ، بر حسب متر، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$h_d = 0.12 \sqrt[3]{l_u^4} \sqrt{100P_g + 50} - 0.5 \quad (16)$$

در رابطه فوق،  $l_u$  فاصله افقی تاج تا پای شیب در قسمت رو به باد بر حسب متر می‌باشد. برای طول افقی ناحیه پشت به باد کمتر از ۶ متر، از مقدار ۶ متر برای  $l_u$  استفاده شود.

### ۳-۳- بار باد

فشار خارجی یا مکش تحت باد بر روی جز یا کل سطح یک ساختمان باید با استفاده از رابطه ذیل بدست آید:

$$P = I_w q C_e C_g C_p \quad (17)$$

در این رابطه  $P$  فشار خارجی که به صورت استاتیکی در جهت عمود بر سطح چه در حالت فشار وارد بر سطح یا مکش به سمت خارج از سطح، عمل می‌کند،  $I_w$  ضریب اهمیت برای بار باد،  $q$  فشار مبنای باد،  $C_e$  ضریب بادگیری،  $C_g$  ضریب اثر جهشی باد،  $C_p$  ضریب فشار خارجی که بر مساحت وجه مورد نظر میانگین‌گیری شده باشد. فشار مبنای باد با استفاده از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$q = 0.0000613V^2 \quad (18)$$

با فرض اینکه سازه مورد نظر در شهر تبریز می‌باشد و با توجه به آیین-نامه مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ضرایب بار را بدست آورده و بار باد را محاسبه کرده‌ایم.

$$P = 59.65 C_g C_p \quad (19)$$

### ۴- مروری بر الگوریتم جستجوی ذرات باردار و الگوریتم توده ذرات

تا جایی که الگوریتم ترکیبی جستجوی ذرات باردار بر اساس الگوریتم CSS و PSO می‌باشد، در بخش زیر مروری بر خلاصه این دو الگوریتم آورده شده است، و الگوریتم ترکیبی در بخش بعدی تعریف شده است.

### ۱-۴- الگوریتم جستجوی ذرات باردار

گام چهارم: تولید جواب جدید. هر ذره باردار طبق رابطه زیر به موقعیت جدید حرکت می‌کند:

$$x_{j,new} = rand_{j1} \cdot k_a \cdot \frac{f_j}{m_j} \Delta t^2 + rand_{j2} \cdot k_v \cdot v_{j,old} \cdot \Delta t + x_{j,old}$$

$$v_{j,new} = \frac{x_{j,new} - x_{j,old}}{\Delta t}$$

که در آن  $k_a$  پارامتر مربوط به شتاب  $v$  و  $k_v$  پارامتر مربوط به سرعت خواهند بود. با تنظیم این پارامترها می‌توان عملکرد الگوریتم را کنترل کرد.

گام پنجم: به روز رسانی بهترین جهانی. مقدار حداقل تابع هدف کلی فعلی در بین موقعیت‌های فعلی تعیین می‌شود و اگر موقعیت جدید بهتر از موقعیت قبلی باشد  $P_g^k$  به روز رسانی می‌شود. گام ششم: کنترل ضابطه‌ی توقف. گام‌های ۳ تا ۵ تکرار می‌شوند تا اینکه یکی از ضوابط از پیش تعیین شده برآورده شود.

#### ۵. الگوریتم ترکیبی جستجوی ذرات باردار-توده ذرات

الگوریتم ترکیبی CSS-PSO توسط طلعت اهری و کاوه ارائه شد [۱۸]. که در آن موقعیت ذرات بارهای محلی و کلی برای ارتقای فزآیند جستجو استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، در الگوریتم جستجوی ذرات باردار-توده ذرات مزیت‌های الگوریتم توده ذرات شامل به کار بردن بهینه محلی و بهینه کلی به الگوریتم جستجوی ذرات باردار اضافه می‌شود.

#### ۱-۵- نحوه‌ی کار الگوریتم ترکیبی CSS-PSO

اگر عدد تصادفی انتخاب شده کمتر از ضریب  $R_p$  باشد، موقعیت جدید ذره با استفاده از فرمول الگوریتم جستجوی ذرات باردار محاسبه خواهد شد:

$$x_{j,new} = rand_{j1} \cdot k_a \cdot \frac{f_j}{m_j} \Delta t^2 + rand_{j2} \cdot k_v \cdot v_{j,old} \cdot \Delta t + x_{j,old}$$

در غیر این صورت موقعیت جدید ذره با استفاده از فرمول الگوریتم جستجوی ذرات باردار محاسبه خواهد شد:

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (29)$$

$$v_i^{k+1} = \omega v_i^k + c_1 \cdot rand_1(p_i^k - x_i^k) + c_2 \cdot rand_2(p_g^k - x_i^k)$$

الگوریتم جستجوی ذرات باردار-توده ذرات در شکل (۱) نشان داده شده است:

گام چهارم: تولید جواب جدید. هر ذره باردار طبق رابطه زیر به موقعیت جدید حرکت می‌کند:

$$x_{j,new} = rand_{j1} \cdot k_a \cdot \frac{f_j}{m_j} \Delta t^2 + rand_{j2} \cdot k_v \cdot v_{j,old} \cdot \Delta t + x_{j,old}$$

$$v_{j,new} = \frac{x_{j,new} - x_{j,old}}{\Delta t}$$

که در آن  $k_a$  پارامتر مربوط به شتاب  $v$  و  $k_v$  پارامتر مربوط به سرعت خواهند بود. با تنظیم این پارامترها می‌توان عملکرد الگوریتم را کنترل کرد.

گام پنجم: به روز رسانی حافظه سیستم. اگر ذراتی بهتر از ذرات ذخیره شده در حافظه سیستم (CM) باشند آن‌ها در حافظه سیستم ذخیره شده و ذرات قبلی از سیستم خارج می‌شوند.

گام ششم: کنترل ضابطه توقف. گام‌های ۳ تا ۵ تکرار می‌شوند تا اینکه یکی از ضوابط از پیش تعیین شده برآورده شود.

#### ۲-۴- الگوریتم توده ذرات

الگوریتم توده ذرات برای اولین بار توسط کندی و ابرهات ارائه گردید [۱۷، ۱۶]. این الگوریتم از رفتارهای اجتماعی یک دسته از پرندگان و گروهی از ماهی‌ها در یافتن غذا الهام گرفته شده است. اساس این الگوریتم بر تکرار جستجو در محیط مسئله توسط جمعیت تصادفی می‌باشد. الگوریتم توده ذرات متاثر از دو مولفه شناختی و اجتماعی می‌باشد. این بدین معنی است که موقعیت یک پرند در یک مرحله، مولفه-ای از موقعیت قبلی، بهترین موقعیت فردی که آن پرند تاکنون تجربه کرده و بهترین موقعیتی که در کل اجتماع پرندگان تاکنون تجربه شده است. نحوه‌ی کار الگوریتم توده ذرات به صورت زیر خلاصه شده است: گام اول: مقدار دهی. مقداری ذرات و سرعت وابسته به آنها با موقعیت‌های تصادفی مقداردهی می‌شوند.

گام دوم: تولید بهترین محلی و کلی: ذرات اولیه به عنوان بهترین محلی در نظر گرفته می‌شوند و بهترین آنها متناظر با کمترین مقدار تابع هدف به عنوان بهترین کلی اولیه خواهد بود.

گام سوم: تولید جواب جدید. سرعت و موقعیت هر ذره طبق رابطه زیر به موقعیت جدید تغییر می‌کند:

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (26)$$

$$V_i^{k+1} = \omega V_i^k + c_1 r_1 \circ (P_i^k - X_i^k) + c_2 r_2 \circ (P_g^k - X_i^k) \quad (27)$$

<sup>۱</sup> acceleration

```

Rp=0.1;
c1=0.5;c2=0.5;
w=0.5;
if rand<Rp
CP(i).Position= (CP(i).Position)+(ka*rand(1,nVar).*Force)+(kv*rand(1,nVar).*(CP(i).Velocity));
else
CM2=CM;
CM=[CM, CM];
CP(i).Position= CP(i).Position+c1*rand(1,nVar).*(BestSol.Position-
CP(i).Position)+c2*rand(1,nVar).*(CM(i).Position-CP(i).Position)+w*CP(i).Velocity;
CM=CM2;
end

```

شکل ۱- الگوریتم جستجوی ذرات باردار-توده ذرات

طرح بهینه گسسته می‌باشد و متغیرهای سطح مقطع از مجموعه مقاطع لوله‌ای شکل مطابق آیین نامه  $Lrfd$  [۱۹] انتخاب می‌شوند. این مقاطع در جدول (۱) نشان داده شده است.

### ۶- مثال‌های عددی

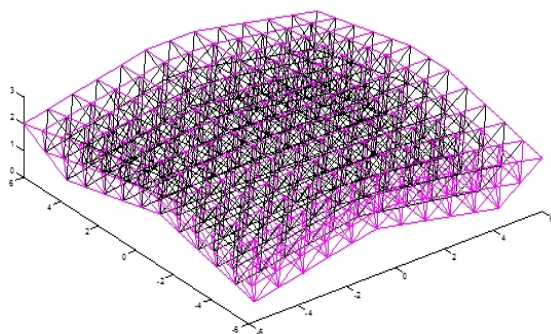
در این مقاله، سازه‌ی هایپربولیک سه‌لایه با استفاده از روش ترکیبی جستجوی ذرات باردار بهینه شده است و نتایج آن با دیگر روش بهینه‌سازی از جمله الگوریتم توده ذرات مقایسه شده است. این مثال

جدول ۱- مقاطع مجاز لوله‌ای شکل مطابق آیین‌نامه LRFD

	Type	Nominal diameter(in)	Weight per ft	Area (in <sup>2</sup> )	Area (cm <sup>2</sup> )	Gyration radius (in)	J(in <sup>4</sup> )
۱	ST	۱/۲	۰/۸۵	۰/۲۵	۱/۶۱	۰/۲۶۱	۰/۰۸۲
۲	EST	۱/۲	۱/۰۹	۰/۳۲	۲/۰۶	۰/۲۵	۰/۰۹۶
۳	ST	۳/۴	۱/۱۳	۰/۳۳۳	۲/۱۴	۰/۳۳۴	۰/۱۴۲
۴	EST	۳/۴	۱/۴۷	۰/۴۳۳	۲/۷۹	۰/۳۲۱	۰/۱۷
۵	ST	۱	۱/۶۸	۰/۴۹۴	۳/۱۸	۰/۴۲۱	۰/۲۶۶
۶	EST	۱	۲/۱۷	۰/۶۳۹	۴/۱۲	۰/۴۰۷	۰/۳۲۲
۷	ST	۱ ۱/۴	۲/۲۷	۰/۶۶۹	۴/۳۱	۰/۵۴	۰/۴۷
۸	ST	۱ ۱/۲	۲/۷۲	۰/۷۹۹	۵/۱۵	۰/۶۲۳	۰/۶۵۲
۹	EST	۱ ۱/۴	۳	۰/۸۸۱	۵/۶۸	۰/۵۲۴	۰/۵۸۲
۱۰	EST	۱ ۱/۲	۳/۶۳	۱/۰۷	۶/۹۰	۰/۷۸۷	۱/۱۲۲
۱۱	ST	۲	۲/۶۵	۱/۰۷	۶/۹۰	۰/۶۰۵	۰/۸۳۴
۱۲	EST	۲	۵/۰۲	۱/۴۸	۹/۵۴	۰/۷۶۶	۱/۴۶۲
۱۳	ST	۲ ۱/۲	۵/۷۹	۱/۷	۱۰/۹۶	۰/۹۴۷	۲/۱۲
۱۴	ST	۳	۷/۵۸	۲/۲۳	۱۴/۳۸	۱/۱۶	۳/۴۴
۱۵	EST	۲ ۱/۲	۷/۶۶	۲/۲۵	۱۴/۵۱	۰/۹۳۴	۲/۶۸
۱۶	DEST	۲	۹/۰۳	۲/۶۶	۱۷/۱۶	۰/۷۰۳	۲/۲
۱۷	ST	۳ ۱/۲	۹/۱۱	۲/۶۸	۱۷/۲۹	۱/۳۴	۴/۷۸
۱۸	EST	۳	۱۰/۲۵	۳/۰۲	۱۹/۴۸	۱/۱۴	۴/۴۶
۱۹	ST	۴	۱۰/۷۹	۳/۱۷	۲۰/۴۵	۱/۵۱	۶/۴۲

۲۰	EST	۳ ۱/۲	۱۲/۵	۳/۶۸	۲۳/۷۴	۱/۳۱	۶/۲۸
۲۱	DEST	۲ ۱/۲	۱۳/۶۹	۴/۰۳	۲۵/۹۹	۰/۸۴۴	۴
۲۲	EST	۵	۱۴/۶۲	۴/۳	۲۷/۷۴	۱/۸۸	۱۰/۹
۲۳	EST	۴	۱۴/۹۸	۴/۴۱	۲۸/۴۵	۱/۴۸	۸/۵۴
۲۴	DEST	۳	۱۸/۵۸	۵/۴۷	۳۵/۲۹	۱/۰۵	۶/۸۴
۲۵	ST	۶	۱۸/۹۷	۵/۵۸	۳۵/۹۹	۲/۲۵	۱۷
۲۶	EST	۵	۲۰/۷۸	۶/۱۱	۳۹/۴۱	۱/۸۴	۱۴/۸۶
۲۷	DEST	۴	۲۷/۵۴	۸/۱	۵۲/۲۵	۱/۳۷	۱۳/۵۸
۲۸	ST	۸	۲۸/۵۵	۸/۴	۵۴/۱۹	۲/۹۴	۳۳/۶
۲۹	EST	۶	۲۸/۵۷	۸/۴	۵۴/۱۹	۲/۱۹	۲۴/۴
۳۰	DEST	۵	۳۸/۵۹	۱۱/۳	۷۲/۹۰	۱/۷۲	۲۴/۲
۳۱	ST	۱۰	۴۰/۴۸	۱۱/۹	۷۶/۷۷	۳/۶۷	۵۹/۸
۳۲	EST	۸	۴۳/۳۹	۱۲/۸	۸۲/۵۸	۲/۸۸	۴۹
۳۳	ST	۱۲	۴۹/۵۶	۱۴/۶	۹۴/۱۹	۴/۳۸	۸۷/۶
۳۴	DEST	۶	۵۳/۱۶	۱۵/۶	۱۰۰/۶۴	۲/۰۶	۴۰
۳۵	EST	۱۰	۵۴/۷۴	۱۶/۱	۱۰۳/۸۷	۳/۶۳	۷۸/۸
۳۶	EST	۱۲	۶۵/۴۲	۱۹/۲	۱۲۳/۸۷	۴/۳۳	۱۱۳/۴
۳۷	DEST	۸	۷۲/۴۲	۲۱/۳	۱۳۷/۴۲	۲/۷۶	۷۵/۲

ST=standard weight, EST=extra strong, DEST=double extra strong

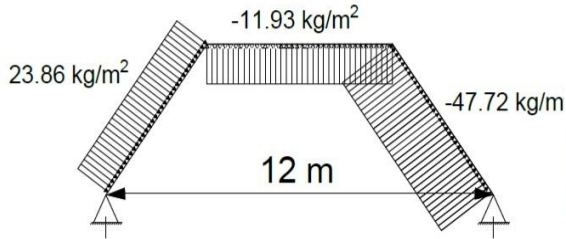


شکل ۲- سازه هایپربولیک سه لایه مدل شده در برنامه متلب

#### ۱-۶- سازه هایپربولیک سه لایه ۱۸۵۶ عضوی

سازه هایپربولیک سه لایه‌ی ۱۸۵۶ عضوی در شکل (۲) نشان داده شده است. این سازه شامل ۴۳۴ گره و دارای ۱۸۵۶ عضو می‌باشد. ۹ متغیر طراحی در این مسئله وجود دارد که شامل متغیرهای شکل و اندازه می‌باشد. برای مراحل بهینه‌سازی اندازه، تمامی اعضای سازه به ۸ گروه طبقه‌بندی شده است که در شکل (۳) نشان داده شده است. به علاوه برای مسائل بهینه‌سازی شکل، بیشترین مقدار ارتفاع ۱۲ و کمترین مقدار آن ۳ می‌باشد. حداقل مقدار مجاز سطح مقطع عرضی برای هر عضو ST1/2 با مساحت ۱/۶۱ سانتی‌مترمربع می‌باشد و حداکثر مقدار مجاز سطح مقطع عرضی برای هر عضو ST10 با مساحت ۷۶/۷ سانتی‌مترمربع می‌باشد.

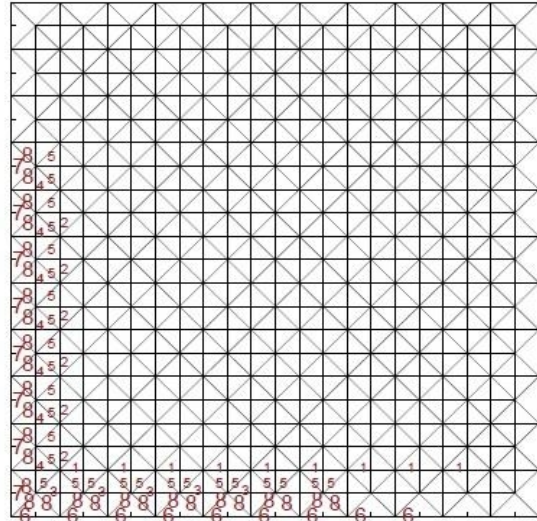
مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان که در بخش ۳ اشاره شد، این سازه در معرض سه نوع بارگذاری استاتیکی قرار دارد: بار مرده، بار باد، بار برف. بار مرده یکنواخت ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شد. بار برف و بار باد به دلیل متفاوت بودن ارتفاع، در هر ارتفاع دارای مقادیر متفاوتی می‌باشند. بنابراین بار برف و بار باد در ارتفاع ۳ متری در شکل (۴) نشان داده شده است.



(ب)

شکل ۴- قاب سازه هایپربولیک سه لایه ۱۸۵۶ عضوی: (الف): بار برف در ارتفاع ۳ متری، (ب): بار باد در ارتفاع ۳ متری ترکیب سازه هایپربولیک ۱۸۵۶ عضوی به صورت زیر می باشد:

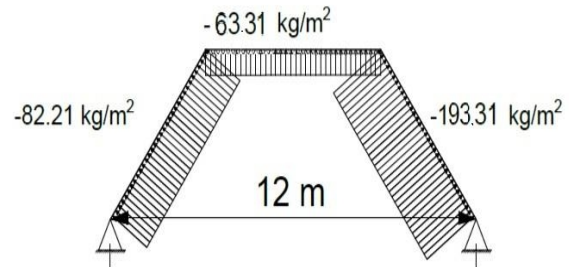
- طول دهانه: ۱۰ متر
- ارتفاع: متغیر بین ۳ تا ۱۲ متر
- طول: ۱۰ متر



شکل ۳- گروه بندی سازه هایپربولیک

در این مثال، چگالی اعضا برابر ۷۸۵۰ کیلوگرم بر مترمربع، مدول الاستیسیته  $10^6 * 2/1$  کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در نظر گرفته شده است.

در این تحقیق، سطح مقطع و ارتفاع، متغیرهای طراحی ما می باشند، برای اینکه به وزن مینیمم سازه دست پیدا کنیم. سازه مورد نظر، به کمک الگوریتم ترکیبی CSS-PSO، ۳۰ بار، با دوره‌ی تکرار ۵۰۰ مورد آنالیز واقع شده، و برای مقایسه‌ی نتایج حاصل از توده ذرات، ۳۰ بار با دوره‌ی تکرار ۵۰۰، مورد آنالیز واقع شده است. نتایج حاصل در جدول (۲) نشان داده شده است.



(الف)

جدول ۲- نتایج حاصل از آنالیز سازه

run	css-pso(kg) (RP=0.1)	css-pso(kg) (RP=0.5)	css-pso(kg) (RP=0.9)	pso(kg)
۱	۶۴۰۲/۰۵	۵۸۳۴/۴۲	۵۸۱۱/۱۴	۵۸۰۷/۵۲
۲	۵۷۸۰/۰۵	۵۸۱۶/۳	۵۸۶۲/۴۶	۵۹۲۱/۰۶
۳	۵۹۸۴/۹۹	۵۸۶۶/۵۴	۵۸۹۷/۹۴	۵۹۴۲/۹۷
۴	۵۷۵۶/۵۸	۵۸۰۶/۴۲	۵۸۴۹/۱۹	۶۰۰۵/۱۷
۵	۵۸۱۴/۷۵	۵۸۳۶/۱۶	۵۸۱۰/۴۲	۵۷۵۴/۶۳
۶	۵۷۶۸/۰۵	۵۷۸۷/۲۹	۵۸۱۴/۵۱	۵۸۰۸/۱
۷	۶۲۵۶/۲۸	۵۸۰۸/۱	۵۸۳۴/۷۰	۵۹۱۳/۵۶
۸	۶۲۹۶/۵۲	۵۸۰۹/۲۲	۵۸۵۵/۱۳	۵۸۷۱/۷۶
۹	۵۷۴۸/۵۱	۵۷۵۲/۴۶	۵۸۲۲/۶۰	۵۷۹۴/۱۱
۱۰	۵۷۹۳/۰۶	۵۷۸۴/۳۸	۶۰۰۹/۳۰	۵۸۰۸/۶۸
۱۱	۵۸۰۳/۵۶	۵۷۷۷/۳۵	۵۸۲۷/۴۷	۵۸۱۵/۸۳
۱۲	۵۹۵۵/۲۶	۵۸۰۸/۶۹	۵۸۷۵/۳۱	۵۹۱۱/۵۰
۱۳	۶۳۶۶/۳۵	۵۸۵۱/۹۱	۵۸۴۶/۱	۵۸۷۹/۹۹
۱۴	۵۷۶۱/۲۱	۵۷۶۷/۷۸	۵۸۲۳/۹۸	۵۹۶۶/۴۴
۱۵	۵۷۸۰/۸۰	۵۷۷۲/۸	۵۸۸۶/۴۲	۵۸۹۳/۴۳



۱۶	۵۷۹۵/۲۰	۵۷۸۲/۹۱	۵۹۶۷/۲۱	۵۸۳۵/۱۸
۱۷	۵۷۶۰/۹۹	۵۸۱۹/۸۱	۵۸۵۷/۶۱	۵۸۷۱/۱۱
۱۸	۵۸۰۶/۴۵	۵۷۶۹/۵۲	۵۷۷۰/۰۲	۵۹۴۸/۴۳
۱۹	۵۷۹۱/۹۹	۵۷۵۹/۵۷	۵۸۷۲/۲۹	۶۱۵۲/۶۸
۲۰	۵۷۴۸/۲۱	۵۷۶۵/۹۶	۵۸۱۰/۰۳	۵۷۸۳/۸۰
۲۱	۵۷۵۳/۶۷	۵۷۸۶/۲۳	۵۹۰۳/۴۲	۵۷۶۷/۳۶
۲۲	۵۷۶۵/۲۷	۵۷۹۵/۶۲	۵۸۵۰/۰۴	۵۸۸۴/۱
۲۳	۵۷۹۸/۰۲	۵۷۶۱/۴۰	۵۷۶۸/۱۵	۵۸۶۰/۸۳
۲۴	۵۹۶۷/۸۱	۵۷۶۳/۶۸	۵۸۸۶/۸۷	۵۸۶۰/۷۰
۲۵	۶۶۰۳/۲۱	۵۷۸۴/۳۰	۵۹۰۳/۵۲	۶۳۹۲/۶۳
۲۶	۵۷۶۵/۲۴	۵۸۹۳/۱۲	۵۷۸۲/۶۷	۵۸۴۹/۲۱
۲۷	۵۸۰۰/۴۶	۵۷۹۷/۲۶	۵۷۸۴/۹۹	۵۸۱۸/۴۴
۲۸	۵۷۵۰/۰۹	۵۸۶۸/۶۴	۶۱۵۲/۵۹	۵۸۳۶/۰۲
۲۹	۵۷۶۵/۴۳	۵۷۵۵/۷۵	۵۸۵۳/۰۹	۵۸۴۲/۴۹
۳۰	۵۸۴۷/۷۴	۵۷۹۶/۳۲	۵۸۲۱/۸۵	۶۰۸۸/۱۶
انحراف معیار	۲۳۴/۵۲	۳۶/۲۳	۷۶/۶۲	۱۲۹/۱۹

الگوریتم جستجوی ذرات باردار اضافه شده است. در این پایان نامه نیز سازه‌ی هایپرپولیک سه لایه با استفاده از این روش بهینه سازی شده است و نتایج آن با روش توده ذرات مقایسه شده است. مقایسه‌ی طراحی بهینه برای سازه‌ی هایپرپولیک سه لایه در جدول (۳) آورده شده است.

اخیرا روش الگوریتم جستجوی ذرات باردار-توده ذرات بر اساس الگوریتم جستجوی ذرات باردار ارائه شده است، که در آن مزیت‌های الگوریتم توده ذرات شامل به کار بردن بهینه محلی و بهینه کلی به

جدول ۳- مقایسه‌ی طراحی بهینه برای سازه‌ی هایپرپولیک سه لایه

	CSS-PSO Rp=0.1	CSS-PSO Rp=0.5	CSS-PSO Rp=0.9	PSO
وزن بهینه (kg)	۵۷۴۸/۵۱	۵۷۵۲/۴۶	۵۷۶۸/۱۵	۵۷۵۴/۶۳
انحراف معیار	۲۳۴/۵۲	۳۶/۲۶	۷۶/۶۲	۱۲۹/۱۹

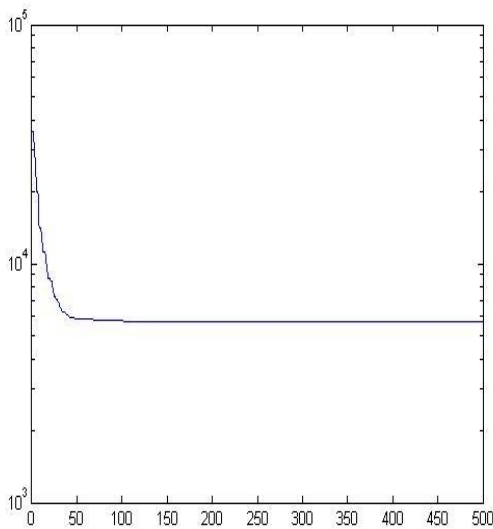
به صفر نزدیک تر می شود الگوریتم جستجوی ذرات باردار نقش بیشتری ایفا می کند و هر چقدر به یک نزدیک تر می شود الگوریتم توده ذرات نقش بیشتری ایفا می کند. متغیرهای طراحی شامل سطح مقطع و ارتفاع در بهترین حالت هر روش در جدول (۴) آورده شده است.

بر اساس نتایج بدست آمده، بهترین مقدار بدست آمده برای تابع هدف از الگوریتم CSS-PSO با ضریب  $Rp=0.5$  می باشد. با توجه به انحراف معیارهای بدست آمده نیز می توان گفت قابلیت اعتماد به الگوریتم CSS-PSO با ضریب  $Rp=0.5$ ، بیشتر می باشد.  $Rp$  ضریبی بین صفر و یک می باشد که هر چقدر عدد تصادفی انتخاب شده

جدول ۴- متغیرهای طراحی بهینه اعضا در بهترین حالت

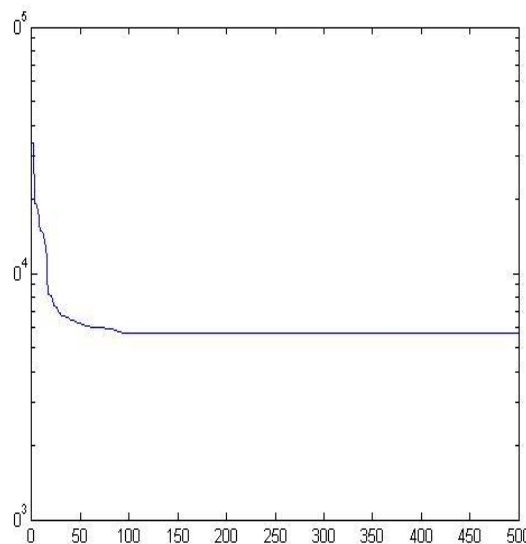
متغیرهای طراحی	css-pso(kg) (RP=0.1)	css-pso(kg) (RP=0.5)	css-pso(kg) (RP=0.9)	pso(kg)
A1(cm)	۳/۰۳	۳/۰۱	۳/۲۳	۳/۱۹
A2(cm)	۳/۱۲	۳/۲۵	۳/۳۰	۳/۱۸
A3(cm)	۱/۶۲	۱/۶۴	۱/۶۶	۱/۶۱
A4(cm)	۱/۶۲	۱/۶۱	۱/۶۳	۱/۶۱
A5(cm)	۵/۳۴	۵/۳۴	۵/۳۲	۵/۳۳
A6(cm)	۲/۰۳	۲/۰۳	۲/۰۲	۲/۰۳
A7(cm)	۲/۱۷	۲/۱۷	۲/۲۰	۲/۱۷
A8(cm)	۲/۹۴	۲/۹۴	۲/۹۳	۲/۹۴
ارتفاع(m)	۶/۴۴	۶/۰۸	۶/۳	۶/۳۲
وزن(kg)	۵۷۴۸/۵۱	۵۷۵۲/۴۶	۵۷۶۸/۱۵	۵۷۵۴/۶۳

نمودار تاریخچه‌ی همگرایی الگوریتم‌ها برای بهترین مقدار وزن سازه در اشکال (۵)، (۶)، (۷)، (۸) آورده شده است.



شکل ۶- نمودار همگرایی الگوریتم css-pso (Rp=0.5) در بهترین

حالت مربوط به آنالیز ۹



شکل ۵- نمودار همگرایی الگوریتم css-pso (Rp=0.1) در بهترین

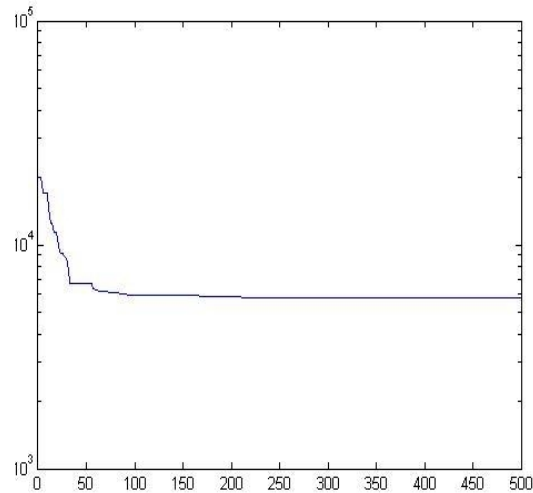
حالت مربوط به آنالیز ۹

الگوریتم جستجوی ذرات باردار-توده ذرات عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم توده ذرات دارد. بنابراین، قابلیت اعتماد به الگوریتم جستجوی ذرات باردار-توده ذرات بیشتر از الگوریتم توده ذرات می‌باشد و این برتری الگوریتم ترکیبی را نشان می‌دهد. با بهینه‌سازی این مدل توانستیم کاهش محسوسی را در وزن سازه بدست بیاوریم که این امر رابطه مستقیم با کاهش هزینه ساخت این سازه دارد. استفاده از الگوریتم جستجوی ذرات باردار-توده ذرات فقط به سازه‌های فضاکار محدود نمی‌شود، همچنین می‌تواند به انواع دیگر مشکلات بهینه‌سازی مانند سازه‌های خرپایی، سازه‌های قاب و ... استفاده شود.

#### ۸- منابع

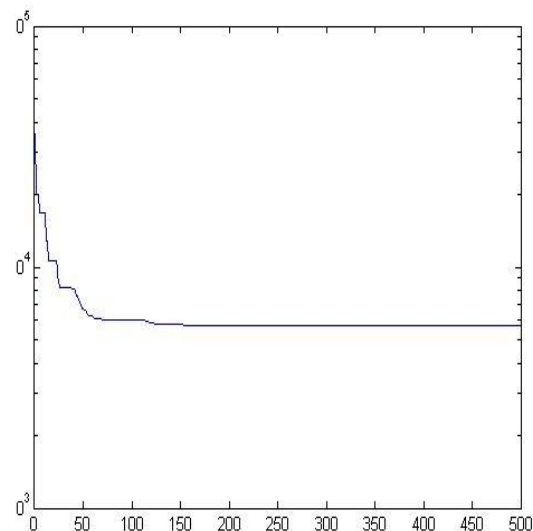
- [1] Kaveh A, Mirzaei B, Jafarvand A. "Optimal design of single-layer barrel vault frames using improved magnetic charged system search", *International Journal of Optimization in Civil Engineering*, No. 4, 3(2013) 575-600.
- [2] Kaveh A, Eftekhar B. "Improved big bang big crunch to optimize barrel vault frames", *Proceeding of the 9th International Congress on Civil Engineering, Isfahan University of Technology (IUT), Isfahan, Iran, 2012.*
- [3] Kaveh A, Farahani M, Shojaei N. "Optimal design of barrel vaults using charged system search", *International Journal of Civil Engineering*, No. 4, 10(2012) 301-8.
- [4] Kaveh A, Talatahari S., (2010) "A novel heuristic optimization method: charged system search", *Acta Mechanica* Nos. 3-4, 213(2010) 267-89.
- [5] Kaveh A, Talatahari S. "An enhanced charged system search for configuration optimization using the concept of fields of forces", *Structural and Multidisciplinary optimization*, 43(2010) 339-351.
- [6] Motie Share MA, Kaveh A, Moslehi M. "Magnetic charged system search: a new meta-heuristic algorithm for optimization", *Acta Mechanica*, 224(2012) 85-107.

- [۷] غلامپور، س، کلاتجاری، و، حق پرست، صالح، (۱۳۸۸). "بهینه‌یابی هندسه و سطح مقطع سازه‌های فضاکار با استفاده از الگوریتم ژنتیک". دانشکده عمران و معماری. دانشگاه صنعتی شاهرود.
- [۸] شهبان، رجبی، قالیشویان، م، (۱۳۸۸). "کاربرد الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی در بهینه‌سازی سازه‌های فضاکار چلیکی دولایه". دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- [۹] شهبان، شریعتمدار، بندگی، م، (۱۳۸۹). "بهینه‌سازی سازه‌های فضاکار گنبدی شکل با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی". دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- [۱۰] کوهستانی، ک، تقی‌زادیه، ن، بابایی قلعه‌جوق، م، (۱۳۸۹). "بهینه‌سازی شکل سازه‌های گنبدی با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک". دانشکده فنی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.



شکل ۷- نمودار همگرایی الگوریتم css-pso (Rp=0.9) در بهترین

حالت مربوط به آنالیز ۲۳



شکل ۸- نمودار همگرایی الگوریتم PSO در بهترین حالت مربوط به آنالیز ۵

#### ۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، از روش جستجوی ذرات باردار-توده ذرات برای بهینه‌سازی سازه‌های هایبربولیک سه‌لایه استفاده شده است، ارتفاع و سطح مقطع به منظور کاهش وزن سازه، به عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفته شده است و از الگوریتم توده ذرات برای مقایسه‌ی نتایج استفاده شده است. برای بهبود عملکرد الگوریتم‌های مورد نظر، سازه‌ی ۱۸۵۶ عضوی، به ۹ گروه طبقه‌بندی شده که باعث افزایش سرعت الگوریتم‌های مورد نظر شده است.

نتیجه نشان می‌دهد که الگوریتم جستجوی ذرات باردار-توده ذرات بهتر از الگوریتم توده ذرات عمل می‌کند. همچنین، قابلیت همگرایی

- [۱۱] فرهمندآذر، ب.، حدیدی، ع.، کوهستانی، ک.، فرهمندپور، ج.، (۱۳۹۰). "بهینه‌سازی سازه‌های فضاکار خرابایی توسط الگوریتم اجتماع ذرات". دانشکده عمران، دانشگاه تبریز.
- [12] Kaveh A, Mirzaei B, Jafarvand A. "Optimal design of double layer barrel vaults using improved magnetic charged system search", Asian Journal of Civil Engineering (BHRC), No. 1, 15(2014) 135-154.
- [۱۳] مشایخی، م.، سلاجقه، ع.، حسن علی محمدی کشکوییه، م.، (۱۳۹۳). "بهینه‌سازی توپولوژی سازه فضاکار تخت دولایه با استفاده از الگوریتم جستجوی ذرات باردار اصلاح شده و الگوریتم تکاملی سازه‌ها". دانشکده فنی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان.
- [14] Talatahari S, Jahani Y. "Hybrid Charged System Search-Particle Swarm Optimization for design of single-layer barrel vault structures", Asian Journal of Civil Engineering (AJCE), No.4, 16(2015) 515-533.
- [۱۵] مبحث ششم مقررات ملی ساختمان.
- [16] Eberhart RC, Kennedy J., (1995). "A new optimizer using partical swarm theory". In Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science, Nagoya, Japan; 1995; 6:39-43.
- [17] Kennedy J, Eberhart RC., (1995). "Partical Swarm Optimization". In Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, pages 1942-1948, Piscataway, NJ, USA, 1995. P. 1942-1948.
- [18] Kaveh A, Talatahari S. "Hybrid charged system search and partical swarm optimization for engineering design problems", Engineering Computations, No. 4, 28(2011) 423-40.
- [19] American Institute of Steel Construction (AISC), Manual of Steel Construction- Load & Resistance Factor Design (AISC-LRFD), 2nd edition, Chicago, USA, 1994.

## Multilayer Paraboloid Structures Optimization of Using a Hybrid Charged System Search

Amir Abbaspour

Master of Science in Structural Engineering, Sofian Branch, Islamic Azad University, Sofian, Iran

Siamak Talaat Ahari

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran

### Abstract

Space structure is a rigid, lightweight, truss-like structure constructed from interlocking struts in a geometric pattern. Space structure can be covered large areas without intermediate supports. In this paper, the problem of simultaneous shape and size optimization of a three-layer paraboloid space structure is addressed. In this method, the hybrid charged system search-particle swarm is utilized as the optimization algorithm and the result is compared with the particle swarm optimization algorithm. The objective of this paper is to find optimal weight, that design variables are considered as height and cross-sectional area. For conducting this, a three-layer paraboloid space structure is designed by SAP and then optimized by using hybrid charged system search-particle swarm and particle swarm optimization algorithms. The result demonstrate the efficiency of the hybrid charged system search-particle swarm algorithm.

**Keywords:** Optimization, Design variables, Paraboloid structure, particle swarm optimization algorithms