



سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد  
سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه  
اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



بهینه‌یابی قاب‌های فولادی براساس روش PSO و بررسی تأثیر پارامترهای  
شناختی و اجتماعی در روند بهینه‌یابی

وحیدرضا کلات جاری<sup>۱</sup>، \* محمدحسین طالب پور<sup>۲</sup>

### چکیده

الگوریتم جستجوی اجتماع ذرات (PSO) یکی از روش‌های فراابتکاری در بهینه‌یابی سازه‌ها است. این روش نیز همانند دیگر الگوریتم‌های فراابتکاری وابسته به پارامترهای مختلفی در روند بهینه‌یابی است که مقدار این پارامترها، تأثیر بسزایی در روند بهینه‌یابی سازه‌ها دارد. در روش PSO پارامترهایی از قبیل پارامتر شناختی ( $C_1$ ) و پارامتر اجتماعی ( $C_2$ ) نقش مؤثری در فرآیند بهینه‌یابی ایفا می‌نمایند. این پارامترها بصورت مستقیم در میزان سرعت هر ذره مؤثر بوده و بدین ترتیب بطور غیرمستقیم در موقعیت نهایی هر ذره تأثیر فراوانی دارند. بدین منظور در این مقاله ابتدا روند حل مسئله بهینه‌یابی سطح مقطع سازه‌ها براساس روش PSO تشریح و در ادامه میزان اثر بخشی پارامترهای شناختی و اجتماعی به ازای حالات و مقادیر مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. معیار مقایسه، سیر همگرایی در روند بهینه‌یابی است که با رسم نمودارهای همگرایی به ازای حالات و مقادیر مختلف، پارامترهای موردنظر بررسی قرار گرفته است. برای نیل به این هدف از مثال‌های بهینه‌یابی سازه‌های قابی استفاده شده است.

### کلمات کلیدی

بهینه‌یابی، روش جستجوی اجتماع ذرات، سطح مقطع، پارامترهای شناختی و اجتماعی، قاب‌های فولادی.

۱. V\_Kalatjari@shahroodut.ac.ir

۱. استادیار، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود،

\* ۲. دانشجوی دکترا سازه، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود، M.H.Talebpour@gmail.com



# سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

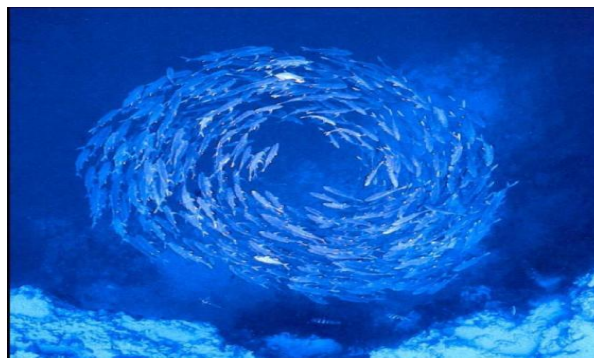
## سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

### اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



#### ۱ - مقدمه

در چند دهه اخیر الگوریتم های فراابتکاری با توجه به شیوه نسبتاً ساده در فرآیند بهینه یابی، مورد توجه بسیاری از محققین در زمینه های مختلف علوم قرار گرفته اند. در این راستا فرآیند بهینه یابی قاب های فولادی مبتنی بر الگوریتم های فراابتکاری، در علم مهندسی سازه نیز جایگاه ویژه ای یافته است. بدین منظور همواره طراحی سازه های بهینه از لحاظ وزن، شکل و ... امری مهم و ضروری بوده و مورد توجه بسیاری از محققین علم مهندسی سازه قرار گرفته است. از جمله الگوریتم های فراابتکاری که در سالیان اخیر مورد توجه محققین علوم مهندسی سازه قرار گرفته، روش جستجوی اجتماع ذرات (PSO) می باشد. این روش نخستین بار در سال ۱۹۹۵ توسط راسل ابرهات دانشمند علوم کامپیوتر و جیمز کندی روانشناس مسائل اجتماعی ارائه شده است [۱]. این محققین با مطالعه رفتار موجودات گروهی همچون پرندگان، ماهیان، انسان ها و ... اساس روش PSO را در علم بهینه یابی پی ریزی نمودند. به بیان دیگر الگوریتم PSO با الهام از زندگی موجودات گروهی در نیل به اهداف مورد نظر شکل گرفته است. این موجودات با حرکت دسته جمعی، اهداف گروه همچون تهیه غذا، حفاظت از خود در برابر دشمن و ... را برآورده می سازند. به عنوان مثال، شکل ۱ همکاری دسته جمعی ماهیان را در تهیه غذا و نیز حفاظت از خود در برابر دشمن را نشان می دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، همکاری گروهی ماهیان سبب بدام انداختن پلانکتون ها در مرکز گروه و شکار آنها شده است. از سوی دیگر براساس این شکل ماهیان با حرکت دسته جمعی و گمراه ساختن ماهیان بزرگتر، از خود در برابر دشمن محافظت می نمایند. بدین ترتیب هر ماهی در مجموعه با رعایت مقررات انفرادی و نیز گروهی سبب نیل به اهداف گروه می شود. این مقررات با تخصیص اطلاعات کلی در میان اعضای جمعیت شکل گرفته و سبب حرکت تکاملی در جهت نیل به هدف گروه می شود. مطالعه حرکت دسته جمعی پرندگان در زمان مهاجرت نیز بیانگر حرکت تکاملی جهت دستیابی به اهداف گروه می باشد. رعایت قوانین انفرادی و گروهی توسط هر پرنده، سبب می شود تا با حرکت V شکل در زمان مهاجرت به اهدافی همچون حداقل سازی مصرف انرژی و ... دست یابند. مطالعه بر رفتار اجتماعی انسان ها نیز نتیجه ای مشابه دیگر موجودات دارد. البته شایان ذکر است که رفتار اجتماعی انسان بسیار پیچیده تر از سایر موجودات می باشد. زیرا علاوه بر ماهیت و حرکت فیزیکی، در فضای باور و اعتقادات نیز تکاپو دارد [۲، ۳].



شکل ۱- همکاری گروه ماهیان در تهیه غذا و حفاظت از خود در برابر دشمنان



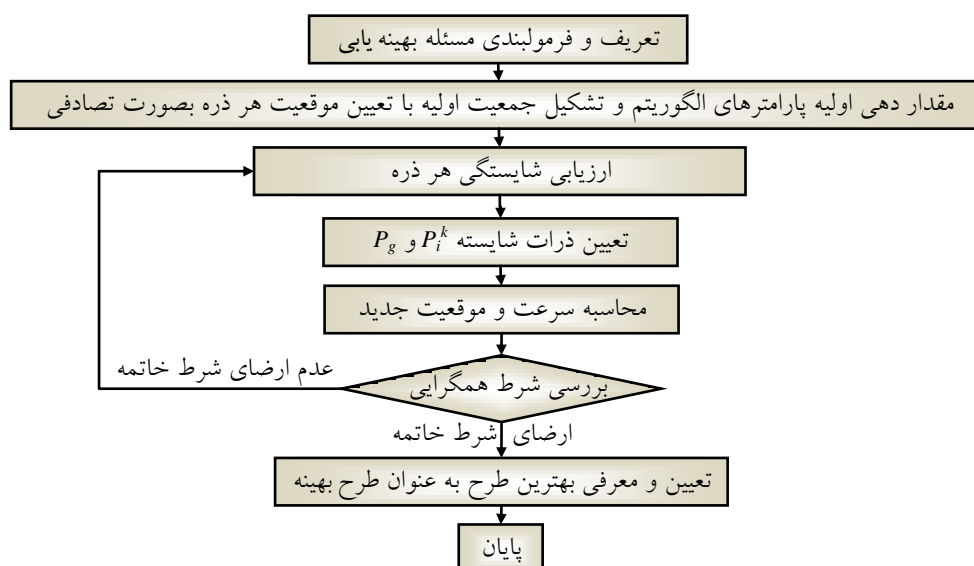
# سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

## سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

### اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



در هر صورت روش PSO با الهام از شیوه زندگی موجودات گروهی، به عنوان یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه‌یابی سازه‌ها مطرح شده است. این روش نیز همانند سایر الگوریتم‌های فراابتکاری از یک جمعیت اولیه که شامل طرح‌های ممکن در فضای طراحی است، برای شروع فرآیند بهینه‌یابی استفاده می‌نماید. هر طرح در این جمعیت به عنوان یک ذره (عضو) در گروه شناخته می‌شود. هر ذره متناسب با مقدار سرعت مربوطه در فضای طراحی حرکت می‌نماید. سرعت هر ذره وابسته به بهترین موقعیت ذره مربوطه از ابتدا تا کنون و نیز بهترین موقعیت در بین تمامی ذرات است [۴]. بدین ترتیب حرکت هر ذره در فضای ممکن در دو جهت صورت می‌گیرد. ۱- حرکت به سوی بهترین موقعیتی که ذره موردنظر از ابتدا تا کنون مشاهده نموده است. ۲- حرکت به سوی بهترین موقعیتی که دیگر ذرات از ابتدا تا کنون مشاهده نموده‌اند. نمودار شکل ۲ فرآیند بهینه‌یابی براساس روش PSO را نشان می‌دهد.



شکل ۲- کلیات مراحل الگوریتم بهینه‌یابی سازه‌ها توسط روش PSO

در این مقاله نخست فرآیند بهینه‌یابی سطح مقطع قاب‌های فولادی با استفاده از روش PSO مورد توجه قرار گرفته است. سپس تأثیر حالات مختلف پارامترهای شناختی و اجتماعی بر روی نتایج طرح بهینه توسط چند مثال مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- فرمولبندی مسئله بهینه‌یابی سازه‌ها

در این بخش نحوه فرمولبندی ریاضی یک مسئله بهینه‌یابی سطح مقطع قاب فولادی ارائه شده است. براین اساس در یک مسئله بهینه‌یابی می‌بایست بردار سطح مقطع اعضا  $[X]$ ، به نحوی تعیین شود که تابع هدف وزن  $W(X)$  کمینه شود [۵].



## سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

### سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

#### اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)

$$W(X) = \sum_{j=1}^{Ne} \rho x_j L_j \quad (1)$$

$$[X] = [x_1, x_2, \dots, x_{Nos}]^T \quad ; \quad x_i \in S \quad ; \quad i = 1, \dots, Nos \quad (2)$$

معمولاً جهت کمینه سازی تابع  $W(X)$  قيود زیر در نظر گرفته می شود [۶]:

$$G1 = \begin{cases} g_{i1}(X) = 0 & \text{if } \left| \frac{\sigma_i}{\sigma_{all}} \right| - 1 \leq 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, Ne \\ g_{i1}(X) = \left| \frac{\sigma_i}{\sigma_{all}} \right| - 1 & \text{if } \left| \frac{\sigma_i}{\sigma_{all}} \right| - 1 > 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, Ne \end{cases} \quad (3)$$

$$G2 = \begin{cases} g_{i2}(X) = 0 & \text{if } \left| \frac{\Delta_i}{\Delta_i^{all}} \right| - 1 \leq 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, N dof \\ g_{i2}(X) = \left| \frac{\Delta_i}{\Delta_i^{all}} \right| - 1 & \text{if } \left| \frac{\Delta_i}{\Delta_i^{all}} \right| - 1 > 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, N dof \end{cases} \quad (4)$$

در روابط (۱) و (۲)،  $Ne$  تعداد اعضای سازه،  $L_i$  طول هر عضو از سازه و  $x_i$  سطح مقطع هر عضو یا مجموعه ای منتخب از اعضای سازه است.  $Nos$  تعداد مقاطع بهینه که بایستی یافته شود و متناسب با گروه بندی اعضای سازه مشخص می شود.  $S$  مجموعه پروفیل های موجود است که مقاطع بهینه از آن انتخاب می شوند و تعداد این مجموعه برابر با  $Ns$  می باشد. قید  $G1$ : در یک سازه، تنش تمامی اعضا ناشی از ترکیبات بارگذاری می بایست در محدوده مجاز و قابل قبول قرار داشته باشد. این مقدار مجاز براساس آیین نامه های طراحی تعیین می شود. در روند بهینه یابی تنش تک تک اعضای سازه محاسبه می شود. در صورت نقض قيود براساس رابطه (۳) جریمه ای به طرح مربوطه اعمال می شود. در این رابطه  $g_{i1}(X)$  میزان نقض قید تنش اعضای سازه،  $\sigma_i$  تنش عضو  $i$ ام،  $\sigma_{all}$  تنش مجاز،  $Ne$  تعداد اعضای سازه است.

قید  $G2$ : پس از تحلیل سازه و محاسبه مقادیر تنش، میزان تغییر مکان گره های فعال سازه محاسبه می شود. در صورتی که تغییر مکان درجه آزادی  $i$ ام، در محدوده مجاز باشد، جریمه ای به طرح مورد نظر تعلق نمی گیرد. اما در غیر این صورت، طرح مربوطه متناسب با میزان تخطی جریمه خواهد شد. میزان نقض قید تغییر مکان، بر اساس روابط (۴) بدست می آید. در این روابط  $g_{i2}(X)$  میزان نقض قید تغییر مکان گره های فعال سازه،  $N dof$  تعداد درجات آزادی فعال گره های سازه،  $\Delta_i$  مقدار تغییر مکان درجه آزادی  $i$ ام و  $\Delta_i^{all}$  مقدار تغییر مکان مجاز درجه آزادی  $i$ ام است [۶].

حال با داشتن تمامی اطلاعات طراحی برای مسئله، فرآیند بهینه یابی از طریق روش PSO قابل اجرا می باشد. برای این منظور فرآیند بهینه یابی بشرح زیر پیاده سازی می شود.

### ۳- بهینه یابی از طریق PSO

در الگوریتم PSO هر ذره بیانگر یک طرح در فضای طراحی می باشد. بنابراین در یک فضای طراحی به ابعاد  $Nos$  موقعیت  $i$ امین ذره براساس بردار  $X_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iNos}]^T$  تعریف می شود. از سوی دیگر سرعت ذره  $i$ ام نیز طبق بردار  $V_i = [v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iNos}]^T$  بیان می شود. در ادامه با توجه به آنکه هر ذره می بایست به سوی بهترین موقعیت خود و نیز



## سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

### سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

#### اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)

بهترین موقعیت دیگر ذرات حرکت نماید، بردارهای  $P_g = [p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{g}^{Nos}]^T$  و  $P_i^k = [p_{i1}^k, p_{i2}^k, \dots, p_{iNos}^k]^T$  بردار  $P_i^k$  بیانگر بهترین موقعیت ذره نام از ابتدا تا  $k$ امین تکرار است و بردار  $P_g$  بیانگر بهترین موقعیت یک ذره از ابتدا تا کنون در بین تمام ذرات می باشد [7].

حال با توجه به تعاریف فوق برای اجرای فرآیند بهینه یابی توسط الگوریتم PSO همانند سایر الگوریتم های فراابتکاری یک جمعیت اولیه نیاز است. برای این منظور، ابتدا تعدادی ذره (طرح)، بصورت تصادفی در فضای کاوش تولید می شود. سپس میزان تابع هدف اصلاح شده برای هر ذره بشرح رابطه زیر محاسبه می شود [6].

$$\phi(X) = W(X) \left[ 1 + K \left( \sum_{q=1}^{nlc} \sum_{q=1}^Q \max[0, Gq] \right) \right] \quad (5)$$

در رابطه فوق  $W(X)$  تابع هدف (وزن سازه) می باشد،  $Gq$  میزان نقض سازه در ارتباط با هر یک از قیود،  $X$  بردار متغیرهای طراحی (بردار سطح مقطع اعضای قاب فولادی) و  $Q$  تعداد کل قیود حاکم بر مساله می باشد.  $nlc$  تعداد حالات بارگذاری و  $K$  ثابت جریمه است. براساس رابطه (5) می توان شایستگی هر طرح را ارزیابی نمود. بدین ترتیب که هر طرحی قیود مسئله را بیشتر نقض نماید، مقدار تابع  $\phi$  متناظر با آن بیشتر است و بدین سان دارای میزان شایستگی کمتری خواهد بود و هر طرحی که دارای  $\phi$  کمتری است از شایستگی بیشتری برخوردار خواهد بود [6].

براساس رابطه (5) می توان در هر تکرار بردارهای  $P_{ik}$  و  $P_g$  را ارزیابی نمود. پس از تشکیل بردار های مورد نظر، موقعیت هر ذره (طرح) در فضای جستجو براساس روابط زیر تغییر می نماید.

$$X_i^{k+1} = X_i^k + \Delta t \cdot V_i^{k+1} \quad (6)$$

$$V_i^{k+1} = \omega V_i^k + c_1 r_1 \left( \frac{p_i^k - X_i^k}{\Delta t} \right) + c_2 r_2 \left( \frac{p_g - X_i^k}{\Delta t} \right) \quad (7)$$

در رابطه فوق  $X_i^k$  موقعیت ذره نام در  $k$ امین تکرار،  $V_i^k$  سرعت ذره نام در  $k$ امین تکرار،  $w$  ضریب اینرسی وزنی سرعت مرحله قبل،  $r_1$ ،  $r_2$  و  $r_3$  سه عدد تصادفی یکنواخت در محدوده صفر تا یک و  $C_1$ ،  $C_2$  بترتیب پارامترهای شناختی و اجتماعی می باشند.  $\Delta t$  پارامتر بازه زمانی است که عموماً برابر واحد در نظر گرفته می شود [8].

ضریب اینرسی وزنی در رابطه (5) پارامتری مهم و تأثیر گذار می باشد. ضریب اینرسی وزنی بزرگ سبب می شود الگوریتم ماهیتی تصادفی یابد، در حالی که ضریب اینرسی کوچک نیز سبب کاهش تأثیر سرعت مرحله قبل شده و احتمال کسب بهینه محلی را افزایش می دهد. بنابراین انتخاب مقدار مناسب برای ضریب اینرسی وزنی سبب ایجاد توازن بین جستجوی محلی و جستجوی سراسری می شود. در مقاله حاضر براساس پیشنهاد مرجع [9] ضریب اینرسی وزنی براساس رابطه زیر استفاده می شود.

$$w = w_{\max} - \frac{(w_{\max} - w_{\min})}{iter_{\max}} iter \quad (8)$$

در رابطه فوق  $iter$  دلالت بر شماره تکرار و  $iter_{\max}$  برابر تعداد کل تکرارها در فرآیند بهینه یابی می باشد.  $w_{\min}$  و  $w_{\max}$  نیز بترتیب بیانگر مقادیر حداکثر و حداقل ضریب اینرسی وزنی است که براساس پیشنهاد کاربر مقدار دهی خواهد شد. شایان



## سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

### سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

#### اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



ذکر است که در این مقاله مقادیر حداکثر و حداقل ضریب وزنی بترتیب برابر یک و ۰/۵ در نظر گرفته شده است. از دیگر تمهیدات انجام شده کنترل مقادیر  $X_i$  در طی فرآیند بهینه یابی است تا بدین سان هر یک از متغیرهای طراحی از محدوده مجاز تجاوز ننماید. در صورت تجاوز هر یک از متغیرهای طراحی از محدوده موردنظر، مقدار متغیر طراحی مربوطه اصلاح می‌شود.

### ۳- بررسی پارامترهای $C_1$ و $C_2$

همان طور که در بخش پیش مشاهده شد، پارامترهای شناختی ( $C_1$ ) و اجتماعی ( $C_2$ ) عوامل مؤثر در روند حرکت هر ذره در فضای طراحی است. هر یک از این ضرایب بطور مستقیم بر سرعت ذرات و بدنبال آن موقعیت جدید آن‌ها مؤثر می‌باشد. بدین سان در این مقاله با اتخاذ رفتار پویا برای هر یک از این ضرایب، میزان تأثیر پارامترهای موردنظر در روند بهینه یابی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  در چهار حالت بشرح زیر ارائه و مورد بررسی قرار گرفته است.

حالت ۱) در این حالت پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  بصورت نزولی در کل فرآیند بهینه یابی تغییر می‌نماید. به عبارت دیگر در ابتدا مقدار بزرگی برای پارامترهای موردنظر لحاظ شده و در طی عملیات بهینه یابی مقادیر پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  بصورت خطی متناسب با نسبت شماره تکرار به تعداد کل تکرارها، براساس رابطه زیر کاهش می‌یابد.

$$c_i = c_i^{Max} - (c_i^{Max} - c_i^{Min}) \frac{iter}{iter_{max}} \quad i = 1, 2 \quad (9)$$

در رابطه فوق،  $c_i^{Max}$  و  $c_i^{Min}$  بترتیب مقادیر حداکثر و حداقل پارامتر مورد نظر در عملیات بهینه یابی است. حالت ۲) این حالت مشابه حالت ۱) است، با این تفاوت که مقدار پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  در کل فرآیند بهینه یابی بصورت افزایشی تغییر می‌نماید. به عبارت دیگر در انتهای عملیات بهینه یابی مقادیر پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  به بیشترین مقدار می‌رسند. برای این منظور مقادیر پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  در طی عملیات بهینه یابی، بصورت خطی متناسب با نسبت شماره تکرار به تعداد کل تکرارها، براساس رابطه زیر افزایش می‌یابد.

$$c_i = c_i^{Min} + (c_i^{Max} - c_i^{Min}) \frac{iter}{iter_{max}} \quad i = 1, 2 \quad (10)$$

حالت ۳) در این حالت مقادیر پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  دارای رفتاری متفاوت می‌باشند. به بیان دیگر در این حالت مقدار پارامتر  $C_1$  در طی عملیات بهینه یابی کاهش و مقدار پارامتر  $C_2$  افزایش می‌یابد. برای این منظور از روابط زیر استفاده شده است.

$$c_1 = c_1^{Max} - (c_1^{Max} - c_1^{Min}) \frac{iter}{iter_{max}} \quad (11)$$

$$c_2 = c_2^{Min} + (c_2^{Max} - c_2^{Min}) \frac{iter}{iter_{max}} \quad (12)$$

حالت ۴) این حالت تقریباً مشابه حالت ۳ می‌باشد، با این تفاوت که رفتار پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  بر خلاف حالت ۳ می‌باشد.



## سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



به عبارت دیگر در این حالت پارامتر  $C_1$  دارای رفتاری صعودی و پارامتر  $C_2$  بصورت نزولی در طی عملیات بهینه یابی، متناسب با نسبت شماره تکرار به تعداد کل تکرار ها تغییر می نماید. برای این منظور از روابط زیر استفاده می شود

$$c_1 = c_1^{Min} + (c_1^{Max} - c_1^{Min}) \frac{iter}{iter_{max}} \quad (13)$$

$$c_2 = c_2^{Max} - (c_2^{Max} - c_2^{Min}) \frac{iter}{iter_{max}} \quad (14)$$

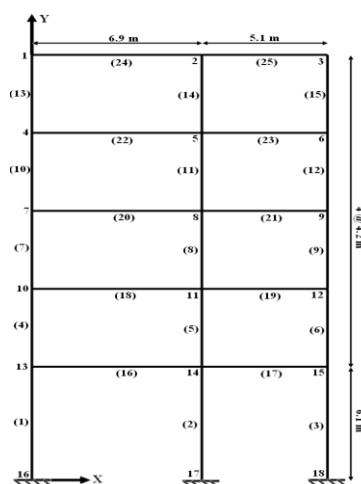
شایان ذکر است که در مقاله حاضر برای کلیه حالات مقادیر حداقل و حداکثر پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  بترتیب برابر ۰/۵ و یک لحاظ شده است. از سوی دیگر برای گریز از تأثیر عوامل تصادفی در روند بهینه یابی و مقایسه نتایج، نمودار سیر همگرایی هر حالت از میانگین ۳۰ اجرای مستقل فرآیند بهینه یابی حاصل شده است

### ۴ - مثال های عددی

جهت بررسی عملکرد حالات مختلف پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$ ، چند مثال بشرح زیر مورد بررسی قرار گرفته است.

#### الف- قاب فولادی پنج طبقه، دو دهانه

همانند شکل ۳، یک قاب فولادی با دو دهانه و پنج طبقه مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۰]. برای کلیه اعضای سازه  $E$  و  $\rho$  بترتیب برابر  $205 \text{ GN/m}^2$  و  $78 \text{ kN/m}^3$  تعریف شده است. مقدار تنش مجاز برای کلیه اعضای سازه براساس فرض صورت پذیرفته در مرجع [۱۰] برابر  $\pm 166.6 \text{ MPa}$  و تغییر مکان مجاز برای گره های آخرین طبقه برابر  $1/500$  ارتفاع قاب در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- قاب فولادی ۵ طبقه دو دهانه



## سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

### سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

### اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



بارهای مرده (DL)، زنده (LL) و بار باد (WL) در سه حالت بشرح ترکیبات زیر به سازه اعمال می شود. مقادیر و جهت بارهای مذکور در جدول ۱ تعریف شده است.

i)  $DL+0.9(LL+WL)$

ii)  $DL+WL$

iii)  $DL+LL$

جدول ۱- مقادیر و جهت بار های اعمالی بر قاب فولادی ۵ طبقه دو دهانه

نوع بار	بزرگی بار	موقعیت بار
بار مرده	$w_y = -11/76 \text{ kN/m}$	اعضای ۱۶، ۱۷، ۱۸، ... و ۲۴، ۲۵
	$P_y = -19/6 \text{ kN}$	گره های ۱ و ۳
	$P_y = -40/2 \text{ kN}$	گره های ۴، ۶، ۷، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳ و ۱۵
بار زنده	$w_y = -10/78 \text{ kN/m}$	اعضای ۱۶، ۱۷، ... و ۲۵
بار باد	$P_x = 5/684 \text{ kN}$	گره ۱
	$P_x = 7/252 \text{ kN}$	گره ۴
	$P_x = 6/664 \text{ kN}$	گره ۷
	$P_x = 5/978 \text{ kN}$	گره ۱۰
	$P_x = 6/272 \text{ kN}$	گره ۱۳

فرض می شود در فرآیند طراحی، می بایست ستون های هر طبقه دارای سطح مقطع یکسانی باشند. از سوی دیگر کلیه تیرهای سازه بطور مستقل طراحی می شوند. بنابراین در مجموع ۱۵ متغیر طراحی برای مسئله بهینه یابی پدید می آید که از لیست مقاطع موجود در جدول ۲ انتخاب می شوند.

جدول ۲- لیست مقاطع برای قاب فولادی ۵ طبقه دو دهانه

شماره مقطع	A	$I_y$	$S_y$	$I_x$	$S_x$	شماره مقطع	A	$I_y$	$S_y$	$I_x$	$S_x$
۱	۵۱/۳۸	۲۵۴۵/۵۰	۲۸۲/۸۳	۱۴۳۹	۲۱۱/۷۰	۸	۹۷	۱۵۰۲۱/۳۰	۹۳۸/۸۳	۴۷۸۷	۵۴۴۴
۲	۵۷/۶۶	۳۵۶۰/۸۰	۳۵۶/۰۸	۱۸۷۲	۲۵۶/۴۰	۹	۱۰۹/۸۰	۱۶۱۱۳/۵۰	۱۰۰۷/۱۰	۵۸۰۱	۶۴۴/۵۰
۳	۶۳/۶۷	۴۷۸۷/۷۰	۴۳۵/۲۵	۲۳۱۳	۳۰۰/۳۰	۱۰	۱۲۱/۷۸	۲۳۷۴۸/۲۰	۱۳۱۹/۳۵	۷۱۴۷	۷۴۴/۵۰
۴	۶۹/۸۱	۶۷۱۰/۲۰	۵۳۷/۴۶	۲۶۴۷	۳۳۹/۴۰	۱۱	۱۳۶/۱۸	۲۵۳۰۳/۴۰	۱۴۰۵/۷۵	۸۵۰۲	۸۶۷/۸۰
۵	۷۹/۸۱	۷۲۳۹/۱۰	۵۷۹/۱۳	۳۲۷۲	۴۰۸/۹۰	۱۲	۱۵۰/۰۹	۳۵۱۵۵/۴۰	۱۷۵۷/۷۷	۹۶۴۶	۹۶۴/۶۰
۶	۸۰/۰۴	۹۵۰۵/۱۰	۶۷۸/۱۳	۳۴۲۰	۴۱۷/۱۰	۱۳	۱۶۶/۰۹	۳۷۲۸۸/۷۰	۱۸۶۴/۴۴	۱۱۲۷۸	۱۱۰۵/۷۰
۷	۹۱/۲۴	۱۰۲۳۶/۸۰	۷۳۱/۲۰	۴۱۹۲	۴۹۹/۱۰	۱۴	۱۸۲/۰۹	۳۹۴۲۲/۱۰	۱۹۷۱/۱۰	۱۲۹۷۵	۱۲۴۷/۶۲

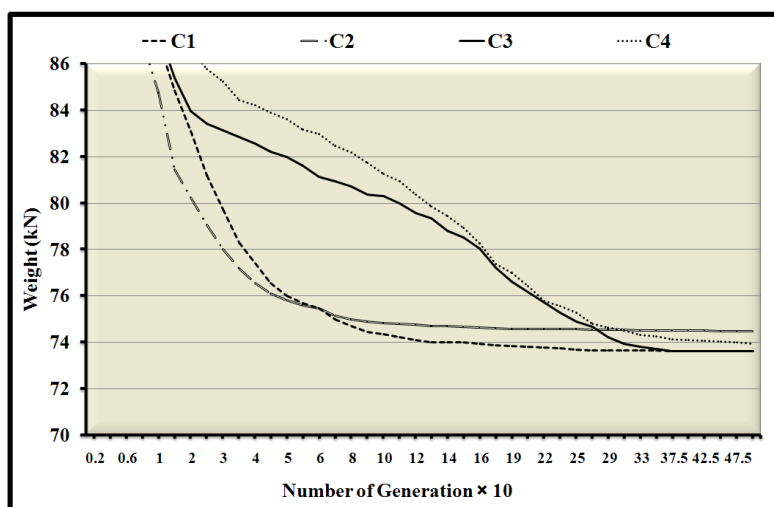




## سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



این مثال توسط حالات مختلف پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  مورد ارزیابی قرار گرفته است. نمودارهای شکل ۴ سیر تکاملی فرآیند بهینه‌یابی را توسط حالات مختلف نشان می‌دهد. تمامی نمودارهای حاصل میانگین ۳۰ اجرای مستقل برای هر حالت می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، سیر همگرایی برای حالات ۳ و ۴ در طی عملیات بهینه‌یابی دارای رفتار مناسبی نیست. به بیان دیگر اتخاذ رفتار متفاوت برای پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  توصیه نمی‌شود و بهتر است پارامترهای موردنظر دارای رفتار یکسانی باشند. از بین حالات ۱ و ۲، حالت اول دارای سیر همگرایی مناسب‌تری نسبت به دیگر حالات می‌باشد. در این حالت پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  دارای رفتاری نزولی در طی عملیات بهینه‌یابی می‌باشند. به عبارت دیگر در این حالت مقادیر پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  در طی عملیات بهینه‌یابی بصورت خطی کاهش می‌یابند. این مسئله سبب می‌شود تا در ابتدا الگوریتم جستجوی سراسری موفق‌ی بوسیله مقادیر پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  داشته باشد و پس از طی تکرارهای متوالی، در انتهای عملیات بهینه‌یابی فرآیند جستجوی محلی را با مقادیر اندک پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  دنبال نماید. به بیان دیگر در این حالت توازن منطقی بین جستجوی سراسری و محلی در طی عملیات بهینه‌یابی حاصل می‌شود. شایان ذکر است که بهترین طرح در مجموع ۱۲۰ اجرای فرآیند بهینه‌یابی برای مثال حاضر، در حالت اول با مقدار  $72/496 \text{ kN}$  حاصل شده است.



شکل ۴- سیر تکاملی فرآیند بهینه‌یابی توسط حالات مختلف برای قاب فولادی پنج طبقه، دو دهانه

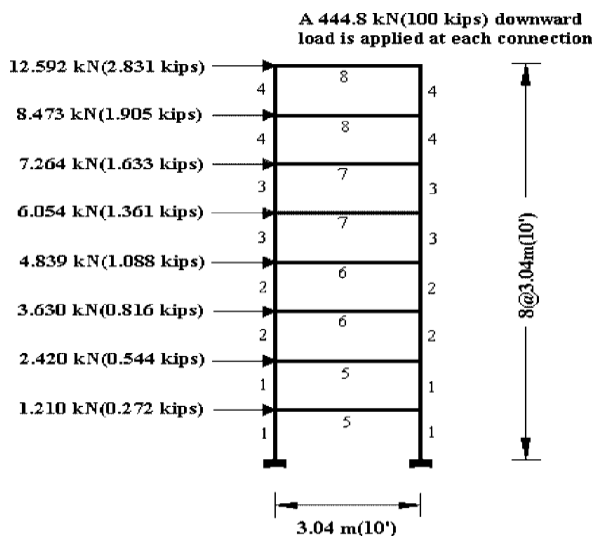
### ب- قاب فولادی هشت طبقه، یک دهانه

در این مثال به بررسی قابی فولادی با هشت طبقه و یک دهانه همانند شکل ۵ پرداخته شده است [۱۱]. برای کلیه اعضای قاب مدول الاستیسیته و چگالی بترتیب برابر  $200 \text{ GPa}$  و  $76/8 \text{ kN/m}^3$  و تنها قید تغییر مکان با مقدار مجاز  $5/08 \text{ cm}$  برای گره‌های طبقه آخر در نظر گرفته شده است. بارهای مؤثر بر سازه بشرح شکل ۵ در نظر گرفته شده است. اعضای قاب مذکور در ۸ گروه بشرح شکل ۵ دسته بندی شده و می‌بایست از لیست ۲۶۸ تایی مقاطع  $W$  بشرح مرجع [۱۱] انتخاب می‌شوند.



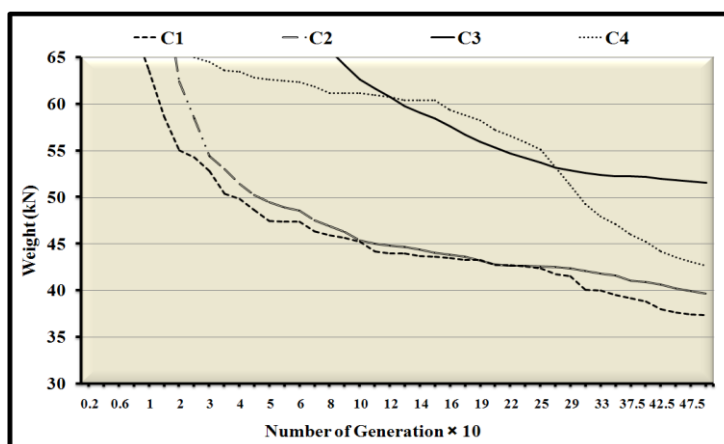
## سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

### سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



شکل ۵- قاب هشت طبقه یک دهانه

برای این مثال نیز همانند مثال پیشین، حالات مختلف پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل ۶ میانگین سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی را برای حالات مختلف نشان می دهد. در این مثال نیز تمامی نمودارها، حاصل ۳۰ اجرای مستقل برای هر یک از حالات می باشد. نکته حائز اهمیت در مثال حاضر، فضای طراحی بزرگ مسئله به واسطه لیست مقاطع می باشد. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود، برای این مثال نیز بهترین سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی به ازای حالت اول حاصل شده است. به بیان دیگر در این مثال نیز حالت اول با ایجاد توازن مناسب بین جستجوی سراسری و محلی، دارای سیر همگرایی مناسب تری نسبت به دیگر حالات می باشد. از سوی دیگر در مثال حاضر نیز حالات ۳ و ۴ دارای سیر همگرایی مناسبی نیستند. بنابراین استفاده از رفتار متفاوت برای پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  توصیه نمی شود. در این مثال نیز بهترین طرح در مجموع ۱۲۰ اجرای مختلف در حالت اول با مقدار  $32/439 \text{ kN}$  حاصل شده است.



شکل ۶- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی توسط حالات مختلف برای قاب فولادی هشت طبقه، یک دهانه



## سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



### ۴ - نتیجه گیری

در مقاله حاضر ضمن ارائه شیوه بهینه یابی سازه‌ها براساس روش PSO، تأثیر پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  در روند بهینه یابی مورد بررسی قرار گرفت. برای اجتناب از تأثیر پارامترهای تصادفی در روش PSO در مجموع برای هر مثال ۱۲۰ اجرای مختلف انجام و نتایج بصورت نمودارهای شکل ۴ برای مثال ۱ و شکل ۶ برای مثال ۲ نشان داده شد. همان طور که در نمودارهای موردنظر مشاهده می شود، پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  تأثیر فراوانی در روند بهینه یابی دارند. لذا اتخاذ رفتاری مناسب برای هر یک امری ضروری و مهم است. با توجه به نتایج حاصل، انتخاب رفتاری نزولی و یکسان برای پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  توصیه می شود، چراکه در هر دو مثال بهترین روند بهینه یابی را نسبت به سایر حالات از خود نشان داده است. در این حالت مقادیر پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  متناسب با نسبت شماره تکرار به تعداد کل تکرارها بصورت خطی کاهش می یابند. این رفتار سبب ایجاد توازنی مناسب بین جستجوی سراسری در ابتدای عملیات بهینه یابی و جستجوی محلی در انتهای فرآیند بهینه یابی می شود. بدین ترتیب فضای طراحی با دقت مناسب تری نسبت به سایر حالات جستجو خواهد شد. از سوی دیگر اتخاذ رفتاری متفاوت برای پارامترهای  $C_1$  و  $C_2$  توصیه نمی شود. در هر دو مثال حاضر روند همگرایی برای حالات ۳ و ۴ مناسب نیست.

### ۴ - مراجع

- [1] J. Kennedy, R. Eberhart, Particle swarm optimization, proceeding of IEEE, International of conference on neural networks, 4, pp. 1942-1948, 1995.
- [2] J. Drezo, A. Petrowski, P. Siarry, E. Taillard, Metaheuristics for hard optimization, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- [3] M. Clerc, Particle swarm optimization, Great Britain by Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire, 2006.
- [4] L. J. Li, Z. B. Huang, F. Liu, A heuristic particle swarm optimization method for truss structures with discrete variables, Computer and structures, 87, (7-8), pp. 435-443, 2009.
- [5] کلات جاری، وحیدرضا، طالب پور، محمدحسین، "بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه‌های خرپایی توسط روش اصلاحی جستجوی چندمنظوره"، نشریه تخصصی مهندسی عمران-نقشه برداری-دانشکده فنی، دوره ۴۵، شماره ۳، ۱۳۹۰.
- [6] کلات جاری، وحیدرضا، طالب پور، محمدحسین، ترکمان زاده، جوادی. "بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه های از طریق الگوریتم ژنتیک و بررسی تأثیر روش های گوناگون اپراتور جهش در روند بهینه یابی" نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، ۱۹-۲۱ اردیبهشت ماه، ۱۳۹۱.
- [7] A. Kaveh, S. Talatahri, A particle swarm ant colony optimization for truss structures with discrete variables, Journal of constructional steel research, 65 (8-9), pp. 1558-1568, 2009.
- [8] O. Hasançebi, S. Çarbaş, E. Doğan, F. Erdal, M. P. Saka, Performance evaluation of metaheuristic search techniques in the optimum design of real size pin jointed structures, Computer and structures, 87 (5-6), pp. 284-302, 2009.
- [9] Y. Shi, R. C. Eberhart, Parameter selection in particle swarm optimization, In: Porto V. W., Saravanan N, Waagen D, Eiben A. E. editors, Evolutionary programming VII, lecture notes in computational Science, Springer-Verlage, pp. 591-600, 1998.
- [10] D. S. Juang, and W. T. Chang, A revised discrete lagrangian-based search algorithm for the optimal design of skeletal structures using available section, Structural and Multidisciplinary optimization, 31, 3, pp. 301-210, 2006.
- [11] C. Camp, S. Pezeshk, and G. Cao, Optimized design of two-dimensional structures using a genetic algorithm, Journal of structural engineering, 124, 5, pp. 551-559, 1998.