



بهینه یابی قاب های فولادی براساس روش جستجوی ذرات باردار و بررسی تأثیر پارامتر بازه زمانی در روند بهینه یابی

وحید رضا کلات جاری^۱، محمد حسین طالب پور^۲

۱- دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود

m.h.Talebpoor@gmail.com

خلاصه

در طول چند سال اخیر، الگوریتم جستجوی ذرات باردار (CSS) به عنوان یکی از روش های فراابتکاری در بهینه یابی سازه ها مطرح شده است. این روش نیز همانند دیگر الگوریتم های فراابتکاری وابسته به پارامترهای مختلفی در روند بهینه یابی است که مقدار این پارامترها، تأثیر بسزایی در روند بهینه یابی سازه ها دارد. در روش CSS نیز پارامتری همچون بازه زمانی (Δt) نقش مؤثری در فرآیند بهینه یابی ایفا می نماید. بدین منظور در این مقاله ابتدا روند حل مسئله بهینه یابی سطح مقطع سازه ها براساس روش CSS تشریح و در ادامه میزان اثر بخشی پارامتر Δt به ازای حالات و مقادیر مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. معیار مقایسه، سیر همگرایی در روند بهینه یابی است که با رسم نمودارهای همگرایی به ازای حالات و مقادیر مختلف، پارامتر مورد نظر بررسی شده است. برای نیل به این هدف از مثال های بهینه یابی سازه های قابی استفاده شده است.

کلمات کلیدی: بهینه یابی، روش جستجوی ذرات باردار، سطح مقطع، پارامتر بازه زمانی، قاب های فولادی.

۱. مقدمه

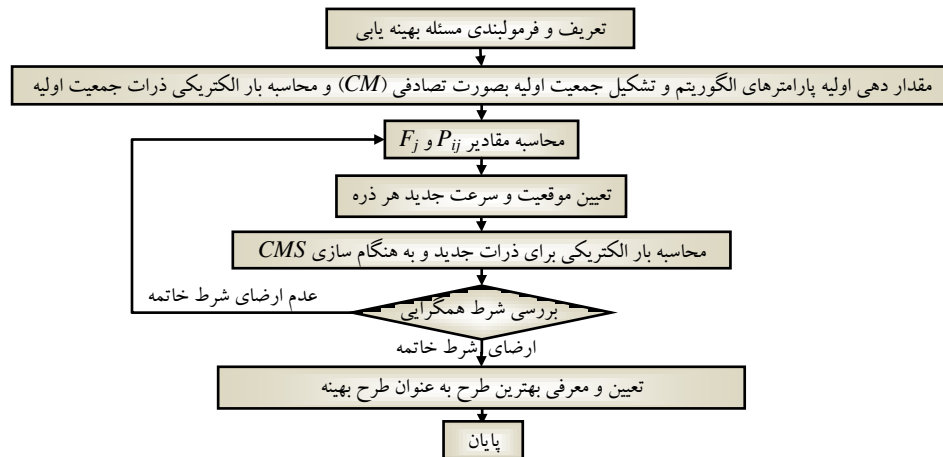
امروزه فرآیند بهینه یابی مورد توجه بسیاری از مهندسين و طراحان سازه ها قرار گرفته است. این فرآیند می بایست منجر به بهترین طرح به ازای محدودیت های موجود شود. به بیان دیگر هدف از طراحی بهینه سازه ها، یافتن بهترین طرح براساس معیارهای طرح و طراح است. این معیارها و عوامل سبب شده است تا محققین مختلف، روش های گوناگونی را برای بهینه یابی و نیل به طرح بهینه ارائه دهند. در این زمینه دو دسته کلی و رایج برای طراحی بهینه سازه ها پیشنهاد شده است. دسته اول بهینه یابی براساس روش های قطعی و یا به تعبیر صحیح تر روش های ریاضی است که با نام روش های کلاسیک شناخته می شوند. دسته دوم بهینه یابی براساس روش های هوشمند تصادفی است که از تئوری احتمالات و نیز قوانین حاکم بر پدیده های طبیعی بهره می گیرند. این روش ها در ادبیات بهینه یابی با عنوان روش های فرااکتشافی معرفی می گردند. در چند دهه اخیر، روش های فرااکتشافی، بطور چشمگیری توسعه یافته اند. عدم وابستگی به نوع متغیر طراحی، قیود مسئله، فضای کاوش، مشتقات توابع و دیگر قابلیت های الگوریتم های فرااکتشافی سبب شده است تا جایگاه ویژه ای در حل مسائل بهینه یابی داشته باشند. منطبق این روش ها به گونه ای است که اکثراً با الهام از فرآیندهای طبیعی، فضای طراحی را به صورت نقطه به نقطه کاوش نموده و طرحی بهینه ارائه می دهند [۱]. یکی از این الگوریتم ها، روش جستجوی ذرات باردار (CSS) است که در سال ۲۰۱۰ توسط کاوه و همکاران ارائه شده است [۲]. این روش در سال های بعد توسط کاوه و همکاران با عناوینی همچون MCSS، CSS-FBM و ... توسعه یافته [۳، ۴] و در بهینه یابی انواع سازه ها بکار گرفته شده است [۵، ۶].

در روش CSS، فرآیند بهینه یابی براساس قوانین ذرات باردار و قوانین حرکت نیوتن انجام می شود. برای این منظور هر بردار متغیرهای طراحی به عنوان یک ذره باردار در فضای طراحی در نظر گرفته می شود. هر ذره دارای یک میدان الکتریکی است که بواسطه مقدار بار الکتریکی مبتنی بر میزان شایستگی طرح هم ارز با ذره تعریف می شود. در ادامه هر ذره تحت تأثیر میدان الکتریکی دیگر ذرات قرار گرفته و متناسب با مقدار نیروی

^۱ استادیار

^۲ دانشجوی دکتری سازه

الکتريکی ناشی از ديگر ذرات، در فضای طراحی حرکت نموده و بدین ترتیب موقعیت جدیدی را در فضای طراحی کسب می نماید. چگونگی حرکت ذرات در فضای کاوش براساس قوانین حرکت نیوتن پی ریزی شده است. بدین ترتیب که هر ذره مبتنی بر موقعیت سابق خود و میزان سرعت و شتاب ناشی از نیروی وارده توسط ديگر ذرات، به سمت موقعیت جدید حرکت می نماید [۲]. با الهام از این مفاهیم، بهینه یابی سازه ها براساس روش جستجوی ذرات باردار بصورت نمودار شکل زیر قابل اجرا می باشد.



شکل ۱- الگوریتم بهینه یابی سازه ها توسط روش جستجوی ذرات باردار

در این مقاله نخست به نحوه بهینه یابی سطح مقطع قاب های فولادی با استفاده از روش جستجوی ذرات باردار پرداخته و در ادامه حالات و مقادیر مختلف پارامتر بازه زمانی مورد توجه قرار گرفته است. در نهایت با شرح چند مثال میزان تأثیر این پارامتر بر روی نتایج طرح بهینه بررسی شده است.

۲. بهینه یابی از طریق روش جستجوی ذرات باردار

۱.۲ تعریف مسئله

در این بخش نحوه عملکرد روش جستجوی ذرات باردار برای بهینه یابی سطح مقطع سازه های قابی توصیف می شود. بدین منظور در ابتدا فرمولبندی ریاضی یک مسئله بهینه یابی سطح مقطع سازه ارائه می شود. بردار سطح مقطع اعضا $[X]$ ، به نحوی تعیین شود که تابع هدف وزن $W(X)$ کمینه شود.

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

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

معمولاً جهت کمینه سازی تابع $W(X)$ قيود زیر در نظر گرفته می شود.

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

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

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. K 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 قیود براساس رابطه (۳) جریمه ای به طرح مربوطه اعمال می شود. در این رابطه $g_{il}(X)$ میزان نقض قید تنش اعضای سازه، σ_i تنش عضو i ام، σ_{all} تنش مجاز، Ne تعداد اعضای سازه است [۷].

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، $Ndof$ تعداد درجات آزادی فعال گره های سازه، Δ_i مقدار تغییر مکان درجه آزادی i ام و Δ_i^{all} مقدار تغییر مکان مجاز درجه آزادی i ام است [۷].
حال با داشتن تمامی اطلاعات طراحی برای مسئله، فرآیند بهینه یابی از طریق روش جستجوی ذرات باردار قابل اجرا می باشد. برای این منظور فرآیند بهینه یابی بشرح مراحل زیر پیاده سازی می شود.

۲.۲ مقدار دهی اولیه

الگوریتم CSS نیز همانند سایر روش های فرااکتشافی، نیازمند مقداردهی اولیه برای تعدادی از پارامترها است. پارامترهایی از قبیل تعداد ذرات هر جمعیت (NP)، شعاع ذرات (a) و ... می بایست در ابتدا مقدار دهی شوند. در ادامه جمعیت اولیه بصورت تصادفی با عنوان CM تولید می شود. هر عضو از این جمعیت با نام ذره شناخته شده و میزان سرعت اولیه برای تمامی ذرات برابر صفر منظور می شود [۲]. در ادامه می بایست میزان بار الکتریکی هر ذره محاسبه گردد. برای این منظور تابع هدف اصلاح شده بشرح رابطه (۵) برای هر ذره تعریف می شود [۸].

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

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 (۵) می توان شایستگی هر طرح را ارزیابی نمود. بدین ترتیب که هر طرحی قیود مسئله را بیشتر نقض نماید، مقدار تابع ϕ متناظر با آن بیشتر است و بدین سان دارای میزان شایستگی کمتری خواهد بود و هر طرحی که دارای ϕ کمتری است از شایستگی بیشتری برخوردار خواهد بود [۸]. حال براساس مقدار تابع هدف اصلاح شده، میزان بار الکتریکی هر ذره بشرح رابطه (۶) محاسبه می شود:

$$q_j = (\phi_j - \phi_{worst}) / (\phi_{best} - \phi_{worst}) \quad j = 1, \dots, NP \quad (6)$$

در رابطه فوق، q_j بار الکتریکی هر ذره است، ϕ_j مقدار تابع هدف اصلاح شده برای i امین ذره حاضر می باشد. ϕ_{best} و ϕ_{worst} به ترتیب مقادیر تابع هدف اصلاح شده برای بهترین و بدترین ذرات جمعیت حاضر می باشد. به بیان دیگر ϕ_{best} مربوط به کمترین مقدار تابع هدف اصلاح شده و ϕ_{worst} مقدار بیشترین تابع هدف اصلاح شده در جمعیت حاضر می باشد. براساس رابطه (۶) هر چه مقدار تابع هدف اصلاح شده برای هر ذره کمتر باشد، میزان بار الکتریکی مربوط به آن بیشتر خواهد شد.

پس از محاسبه میزان بار الکتریکی ذرات، جمعیت کوچکی از بهترین های جمعیت حاضر با عنوان CMS ساخته می شود. به عبارت دیگر تعدادی از بهترین ذرات (طرح) جمعیت حاضر با بیشترین مقدار بار الکتریکی در جمعیت CMS سازماندهی می شوند. تعداد اعضای جمعیت CMS براساس پیشنهاد مرجع [۵] برابر یک چهارم تعداد ذرات جمعیت CM در نظر گرفته می شود. در نظر گرفتن یک حافظه که بهترین طرح ها را ذخیره نماید، می تواند سبب بهبود کارایی الگوریتم شود.

۳.۲ محاسبه مقادیر F_j و P_{ij}

پس از آماده سازی پارامترهای اولیه در روش CSS، فرآیند بهینه یابی با محاسبه احتمال جذب هر ذره توسط سایر ذرات (P_{ij}) ادامه می یابد. برای این منظور در مقاله حاضر مقدار P_{ij} براساس رابطه زیر تعیین می شود [۹].

$$P_{ij} = \begin{cases} 1 & \frac{\phi_i - \phi_{best}}{\phi_j - \phi_i} > ran \quad \vee \quad \phi_j < \phi_i \\ 0 & else \end{cases} \quad (7)$$

در رابطه فوق ran یک عدد تصادفی در محدوده صفر تا یک می باشد. مقادیر ϕ_i و ϕ_j نیز بترتیب دلالت بر مقدار تابع هدف اصلاح شده برای i امین و j امین ذره در جمعیت حاضر دارند. براساس رابطه (۷) تمامی ذرات خوب (با شایستگی بیشتر) می توانند ذراتی با شایستگی پایین را جذب نمایند. این مهم حالتی است که ϕ_j کوچکتر از ϕ_i بوده و در نتیجه مقدار P_{ij} برای j امین ذره برابر یک خواهد شد. از سوی دیگر در این حالت برخی از ذرات با شایستگی کم نیز می توانند ذراتی با شایستگی بالا را جذب نمایند. برای نیل به این هدف می بایست مقدار عبارت $(\phi_i - \phi_{best} / \phi_j - \phi_i)$ در رابطه (۷) بیشتر از عدد تصادفی تولید شده (ran) باشد. بدین ترتیب احتمال گرفتاری در بهینه محلی کاهش یافته و فضای طرحی با دقت بیشتر و طیف وسیعتری کاوش می شود.

پس از محاسبه P_{ij} برای ذرات جمعیت حاضر، مقدار نیروی برآیند وارد بر هر ذره توسط دیگر ذرات، براساس رابطه زیر محاسبه می شود [۵].

$$F_j = q_j \sum_{i, i \neq j} \left(\frac{q_i}{a^3} r_{ij} \cdot i_1 + \frac{q_i}{r_{ij}^2} \cdot i_2 \right) P_{ij} (X_i - X_j), \quad \begin{cases} i_1 = 1, i_2 = 0 & \Leftrightarrow r_{ij} < a \\ i_1 = 0, i_2 = 1 & \Leftrightarrow r_{ij} \geq a \end{cases} \quad (8)$$

در رابطه فوق F_j نیروی برآیند وارد بر ذره j ام است. a و q_j بترتیب شعاع و بار الکتریکی ذره j ام بوده که مقدار a برابر واحد فرض می شود [۲]. r_{ij} فاصله بین ذرات i و j بوده که براساس رابطه (۹) محاسبه می شود [۲].

$$r_{ij} = \frac{\|X_i - X_j\|}{\left\| \frac{X_i + X_j}{2} - X_{best} \right\| + \varepsilon} \quad (9)$$

در رابطه (۹) X_i و X_j بترتیب موقعیت i امین و j امین ذره باردار در فضای طراحی است. X_{best} مربوط به موقعیت بهترین ذره در جمعیت حاضر بوده و ε یک عدد مثبت کوچک برای جلوگیری از بی معنی شدن کسر (صفر شدن مخارج) می باشد.

۴.۲ تعیین موقعیت و سرعت جدید هر ذره

در روش CSS، هر ذره براساس نیروی وارده توسط دیگر ذرات و نیز قوانین حرکت نیوتن در فضای کاوش حرکت می نماید. برای این منظور پس از تعیین مقدار نیروی وارد بر j امین ذره توسط دیگر ذرات (F_j)، ذره j براساس رابطه (۱۰) به سوی موقعیت جدید ($X_{j,new}$) حرکت می نماید [۵].

$$X_{j,new} = X_{j,old} + ran_{j1} \cdot k_a \frac{F_j}{m_j} \cdot \Delta t^2 + ran_{j2} \cdot k_v \cdot v_{j,old} \cdot \Delta t \quad (10)$$

در رابطه فوق $X_{j,new}$ و $X_{j,old}$ بترتیب موقعیت قدیم و جدید j امین ذره در فضای کاوش هستند. $v_{j,old}$ سرعت قدیم ذره j ام و ran_{j1} و ran_{j2} اعدادی تصادفی در محدوده صفر تا یک می باشند. Δt پارامتر بازه زمانی و m_j جرم j امین ذره است که برابر q_j در نظر گرفته می شود [۵]. k_a و k_v نیز بترتیب ضریب شتاب و ضریب سرعت می باشند که برای کنترل میزان شتاب و سرعت ذره در رابطه (۱۰) لحاظ می شوند.

با توجه به آن که پارامتر k_a ضریب نیروی جاذبه است، انتخاب یک مقدار بزرگ برای آن سبب همگرایی زودرس می شود. از سوی دیگر انتخاب یک مقدار کوچک برای آن نیز سرعت همگرایی الگوریتم را کاهش می دهد. لذا توصیه می شود مقدار k_a براساس رابطه زیر در طی فرآیند بهینه یابی تنظیم شود [۲].

$$k_a = 0.5(1 + iter/iter_{max}) \quad (11)$$

در رابطه فوق $iter$ دلالت بر شماره تکرار و $iter_{max}$ برابر تعداد کل تکرارها در فرآیند بهینه یابی می باشد. از سوی دیگر پارامتر k_v نیز با توجه به آن که ضریب سرعت قدیم است، براساس پیشنهاد مرجع [۲] بشرح رابطه زیر محاسبه می شود.

$$k_v = 0.5(1 - iter/iter_{max}) \quad (12)$$

پس از محاسبه موقعیت جدید هر ذره، سرعت جدید هر ذره برای تکرار بعدی بشرح رابطه زیر محاسبه می شود.

$$v_{j,new} = \frac{X_{j,new} - X_{j,old}}{\Delta t} \quad (13)$$

در رابطه فوق $v_{j,new}$ سرعت جدید ذره j م است.

۵.۲ ارزیابی ذرات جدید

پس از محاسبه موقعیت جدید هر ذره، ممکن است ذره ای از محدوده مجاز یکی از متغیرهای طراحی خارج شود. به عبارت دیگر متغیرهای طراحی براساس لیست مقاطع دارای حد بالا و پایین می باشند و ممکن است در مرحله حرکت ذرات، یکی از متغیرهای طراحی از محدوده مجاز خارج شود. لذا در این مقاله اصلاح موقعیت ذره با الهام از الگوریتم جستجوی هارمونی [۱۰] بشرح زیر انجام می شود.

برای این منظور ابتدا عددی تصادفی در محدوده صفر تا یک تولید می شود. در صورتی که عدد تصادفی حاصل از مقدار $CMCR$ بیشتر باشد، مقدار متغیر طراحی موردنظر با تولید مقدار تصادفی جدید در محدوده مجاز تغییر می نماید. به بیان دیگر در این شرایط متغیر طراحی مجدداً بصورت تصادفی براساس محدوده مجاز مقدار دهی می شود. از سوی دیگر اگر عدد تصادفی از مقدار $CMCR$ کمتر باشد، میزان متغیر طراحی موردنظر از مقادیر هم ارز در جمعیت CMS انتخاب می شود. در ادامه برای این حالت، عدد تصادفی دیگری در محدوده صفر تا یک تولید می شود. اگر عدد تصادفی دوم از مقدار PAR بیشتر باشد، متغیر طراحی تغییری نمی نماید و همان مقدار انتخاب شده از مقادیر هم ارز در جمعیت CMS خواهد ماند. اما در صورتی که عدد تصادفی از مقدار PAR کمتر باشد، متغیر طراحی از همسایگی مقدار اتخاذ شده در گام پیشین (مقدار انتخاب شده از مقادیر هم ارز در جمعیت CMS) انتخاب می شود. شایان ذکر است که مقادیر $CMCR$ و PAR در مرحله نخست مقدار دهی می شود [۱۱].

پس از اصلاح موقعیت ذرات جدید، جمعیت جدید شکل می گیرد. سپس بار الکتریکی هر ذره از جمعیت جدید براساس رابطه (۶) محاسبه شده و در ادامه جمعیت CMS بهنگام می شود. برای این منظور در صورتی که ذره ای از ذرات جدید بار الکتریکی بیشتری نسبت به بدترین ذره CMS داشته باشد، ذره جدید جایگزین ذره نالایق در جمعیت CMS خواهد شد.

۶.۲ بررسی شرط همگرایی

روش های متنوعی برای بررسی شرط خاتمه در الگوریتم های فراابتکاری وجود دارد [۱]. در این تحقیق، شرط خاتمه روش جستجوی ذرات باردار با تکمیل تعداد مراحل تکرار کنترل می شود. به عبارت دیگر الگوریتم CSS مراحل فوق را با محاسبه P_{ij} و F_j آغاز و تا تکمیل تعداد دفعات پیش بینی شده تکرار می کند. زمانی که شرط خاتمه محقق شود، الگوریتم بهترین طرح را به عنوان طرح بهینه معرفی می نماید.

۳. بررسی پارامتر بازه زمانی

پارامتر بازه زمانی در رابطه (۱۰) بصورت ضریبی با توان یک در سرعت مرحله پیشین و بصورت ضریبی با توان دو در F_j اثر دارد. به همین سبب می توان اظهار نمود که پارامتر بازه زمانی تأثیر فراوانی در موقعیت جدید هر ذره خواهد داشت. لذا در این مقاله تأثیر پارامتر بازه زمانی مورد توجه قرار گرفته است. برای این منظور مثال های بهینه یابی قاب های فولادی در حالات متفاوت برای پارامتر بازه زمانی بشرح زیر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

حالت (۱) در این حالت پارامتر بازه زمانی بصورت مقداری ثابت لحاظ شده است. بدین منظور Δt برابر مقادیر ثابت $0/5, 0/6, 0/7, 0/8, 0/9, 1, 1/1, 1/2, 1/3, 1/4$ و $1/5$ در اجراهای متفاوت روش CSS در نظر گرفته شده است. برای گریز از تأثیر پارامترهای تصادفی در روند بهینه یابی، به ازای هر مقدار پارامتر بازه زمانی، ۱۰ اجرای مستقل برای فرآیند بهینه یابی صورت گرفته است. سپس میانگین سیر همگرایی برای هر Δt محاسبه و بررسی شده است. در ادامه میانگین مقادیر سیر همگرایی برای تمامی مقادیر ثابت Δt محاسبه (میانگین ۱۰۰ اجرای فرآیند بهینه یابی) و بصورت نماینده سیر همگرایی مربوط به پارامتر بازه زمانی با مقدار ثابت ارائه شده است.

حالت (۲) در این حالت مقدار پارامتر بازه زمانی بصورت افزایشی در کل فرآیند بهینه یابی تغییر می نماید. به عبارت دیگر در ابتدا احتمال کمی برای Δt منظور شده و در طی عملیات بهینه یابی، مقدار Δt بصورت خطی متناسب با نسبت شماره تکرار به تعداد کل تکرار ها، براساس رابطه زیر افزایش می یابد.

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

در رابطه فوق، Δt^{Max} و Δt^{Min} بترتیب مقادیر حداکثر و حداقل پارامتر بازه زمانی در عملیات بهینه یابی است.

حالت (۳) این حالت مشابه حالت (۲) است با این تفاوت که مقدار پارامتر بازه زمانی در کل فرآیند بهینه یابی بصورت کاهشی تغییر می نماید. به عبارت دیگر در انتهای عملیات بهینه یابی مقادیر کوچکی برای پارامتر بازه زمانی منظور شده و در طی عملیات بهینه یابی، مقدار Δt بصورت خطی متناسب با نسبت شماره تکرار به تعداد کل تکرار ها، براساس رابطه زیر کاهش می یابد.

$$\Delta t = \Delta t^{Max} - (\Delta t^{Max} - \Delta t^{Min}) \frac{iter}{iter_{max}} \quad (15)$$

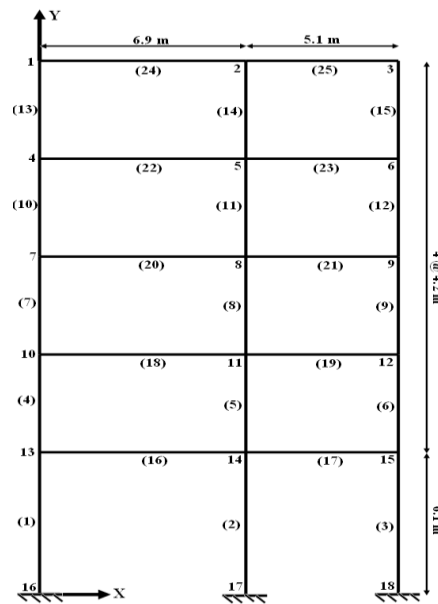
شایان ذکر است که در حالات (۲) و (۳) مقادیر حداقل و حداکثر پارامتر بازه زمانی بترتیب برابر $0/5$ و $1/5$ لحاظ شده است. از سوی دیگر در حالات (۲) و (۳) نیز برای گریز از تأثیر عوامل تصادفی در روند بهینه یابی و مقایسه نتایج، نمودار سیر همگرایی هر حالت از میانگین ۳۰ اجرای مستقل فرآیند بهینه یابی حاصل شده است.

۴. مثال های عددی

جهت بررسی عملکرد حالات مختلف پارامتر بازه زمانی، چند مثال بشرح زیر مورد بررسی قرار گرفته است.

۱.۳ قاب پنج طبقه، دو دهانه

همانند شکل ۲، یک قاب فولادی دو دهانه پنج طبقه مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۲]. برای کلیه اعضای سازه E و ρ بترتیب برابر $205 GN/m^2$ و $78 kN/m^3$ تعریف شده است. مقدار تنش مجاز برای کلیه اعضای سازه براساس فرض صورت پذیرفته در مرجع [۱۲] برابر $\pm 166.6 MPa$ و تغییر مکان مجاز برای گره های آخرین طبقه برابر $1/500$ ارتفاع قاب در نظر گرفته شده است.



شکل ۲- قاب ۵ طبقه دو دهانه

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 بارهای اعمالی بر قاب ۵ طبقه دو دهانه

موقعیت بار	بزرگی بار	نوع بار
اعضای ۱۶، ۱۷، ۱۸، ... و ۲۴، ۲۵	$w_y = - ۱۱/۷۶ \text{ kN/m}$	بار مرده
گره های ۱ و ۳	$P_y = - ۱۹/۶ \text{ kN}$	
گره های ۴، ۶، ۷، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳ و ۱۵	$P_y = - ۴۰/۲ \text{ kN}$	
اعضای ۱۶، ۱۷، ... و ۲۵	$w_y = - ۱۰/۷۸ \text{ kN/m}$	بار زنده
گره ۱	$P_x = ۵/۶۸۴ \text{ kN}$	بار باد
گره ۴	$P_x = ۷/۲۵۲ \text{ kN}$	
گره ۷	$P_x = ۶/۶۶۴ \text{ kN}$	
گره ۱۰	$P_x = ۵/۹۷۸ \text{ kN}$	
گره ۱۳	$P_x = ۶/۲۷۲ \text{ kN}$	

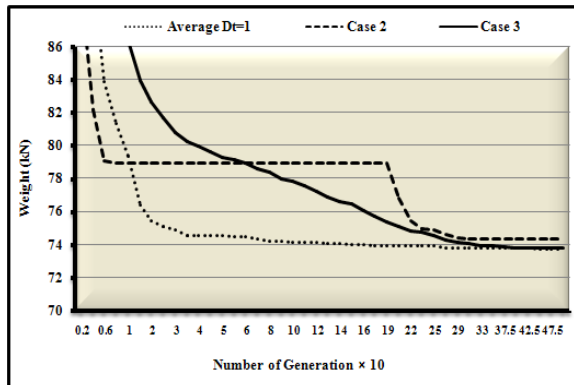
فرض می شود در فرآیند طراحی، می بایست ستون های هر طبقه دارای سطح مقطع یکسانی باشند. از سوی دیگر کلیه تیرهای سازه بطور مستقل طراحی می شوند. بنابراین در مجموع ۱۵ متغیر طراحی برای مسئله بهینه یابی پدید می آید که از لیست مقاطع موجود در جدول ۲ انتخاب می شوند.

جدول ۲- لیست مقاطع برای قاب ۵ طبقه دو دهانه

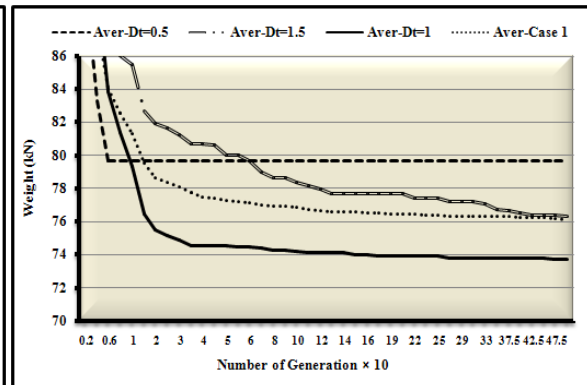
شماره مقطع	A	I _y	S _y	I _x	S _x	شماره مقطع	A	I _y	S _y	I _x	S _x
۱	۵۱/۳۸	۲۵۴۵/۵۰	۲۸۲/۸۳	۱۴۳۹	۲۱۱/۷۰	۸	۹۷	۱۵۰۲۱/۳۰	۹۳۸/۸۳	۴۷۸۷	۵۴۴۴
۲	۵۷/۶۶	۳۵۶۰/۸۰	۳۵۶/۰۸	۱۸۷۲	۲۵۶/۴۰	۹	۱۰۹/۸۰	۱۶۱۱۳/۵۰	۱۰۰۷/۱۰	۵۸۰۱	۶۴۴/۵۰
۳	۶۳/۶۷	۴۷۸۷/۷۰	۴۳۵/۲۵	۲۳۱۳	۳۰۰/۳۰	۱۰	۱۲۱/۷۸	۲۳۷۴۸/۲۰	۱۳۱۹/۳۵	۷۱۴۷	۷۴۴/۵۰
۴	۶۹/۸۱	۶۷۱۰/۲۰	۵۳۷/۴۶	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

این مثال توسط حالات مختلف پارامتر بازه زمانی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نمودارهای اشکال ۳ و ۴ سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی را توسط حالات مختلف نشان می دهد. در شکل ۳ نمودار میانگین ۱۰ اجرای مختلف برای مقادیر بازه زمانی به ازای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ به همراه میانگین کل حالات مقادیر ثابت (میانگین ۱۱۰ اجرای فرآیند بهینه یابی در حالت ۱) رسم شده است. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود، حالت Δt برابر یک از سایر حالات روند بهینه یابی را مناسب تر طی نموده است.

در شکل ۴ نمودار میانگین حالات ۲ و ۳ به همراه میانگین Δt برابر یک رسم شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، حالت نزولی برای Δt (حالت ۳) دارای روند بهینه یابی مناسبی است اما در این مقایسه نیز حالت Δt برابر یک از روند بهینه یابی بهتری نسبت به سایر حالات برخوردار است. شایان ذکر است که بهترین طرح در مجموع ۱۷۰ اجرای فرآیند بهینه یابی برای مثال حاضر، در حالت Δt برابر یک با مقدار $72/919 \text{ kN}$ حاصل شده است.



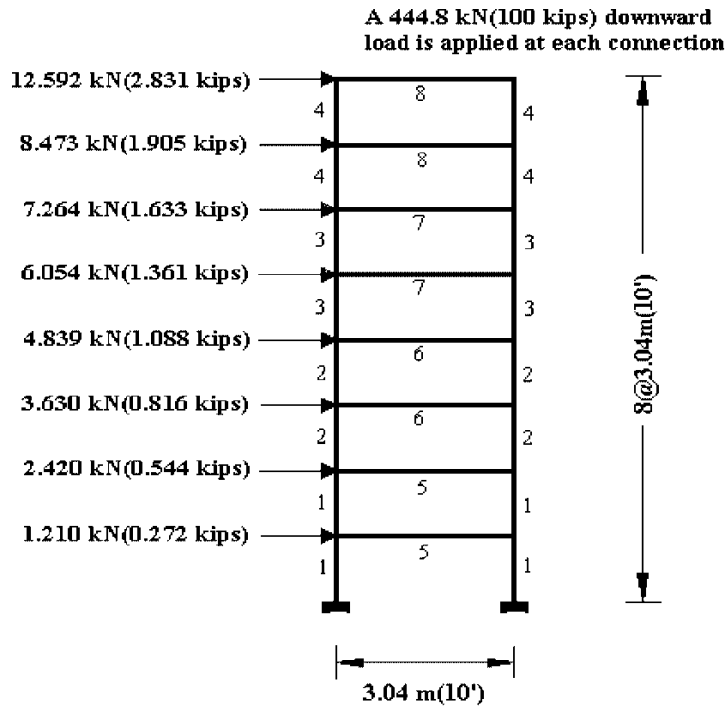
شکل ۴- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی توسط حالات مختلف



شکل ۳- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی توسط مقادیر مختلف حالت یک

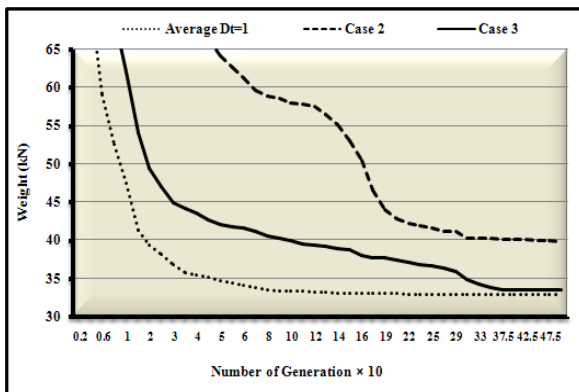
۲.۳ قاب هشت طبقه یک دهانه

در این مثال به بررسی قابی با هشت طبقه و یک دهانه همانند شکل ۵ پرداخته شده است [۱۳]. برای کلیه اعضای قاب مدول الاستیسیته و چگالی برتریب برابر 200 GPa و $76/8 \text{ kN/m}^3$ و تنها قید تغییر مکان با مقدار مجاز $5/8 \text{ cm}$ برای گره های 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 می بایست از لیست ۲۶۸ تایی مقاطع W بشرح مرجع [۱۳] انتخاب شوند.

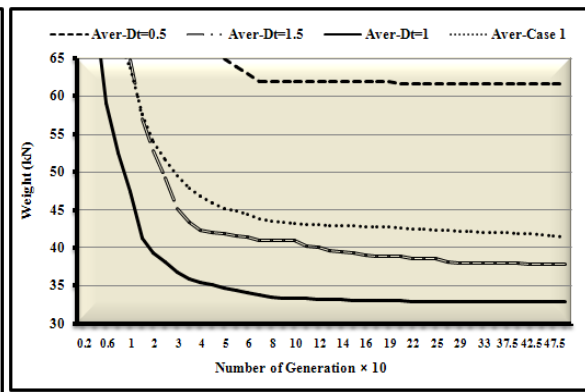


شکل ۵- قاب هشت طبقه یک دهانه

برای این مثال نیز همانند مثال پیشین، حالات مختلف پارامتر بازه زمانی مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل ۶ میانگین سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی را برای بازه زمانی به ازای مقادیر ۰/۵، ۱ و ۱/۵ (هر کدام ۱۰ اجرای مستقل) به همراه میانگین سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی برای کلیه مقادیر ثابت (۱۱۰ اجرا) نشان می دهد. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود، برای این مثال نیز بهترین سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی به ازای مقادیر ثابت برای مقدار Δt برابر یک حاصل شده است. از سوی دیگر شکل ۷ میانگین سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی را برای حالات ۲ و ۳ به همراه بهترین سیر تکاملی در مقادیر ثابت Δt برابر یک نشان می دهد. همان طور که در نمودار شکل ۷ نیز مشاهده می شود سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی به ازای مقدار بازه زمانی برابر یک مناسب تر از حالات دیگر است. در این مثال نیز بهترین طرح در مجموع ۱۷۰ اجرای مختلف در حالت Δt برابر یک با مقدار $31/743 \text{ kN}$ حاصل شده است.



شکل ۷- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی توسط حالات مختلف



شکل ۶- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی توسط مقادیر مختلف حالت یک

۴. نتیجه گیری

در مقاله حاضر ضمن ارائه شیوه بهینه یابی سازه ها براساس روش جستجوی ذرات باردار، تأثیر پارامتر بازه زمانی در روند بهینه یابی مورد بررسی قرار گرفته است. برای گریز از تأثیر پارامترهای تصادفی در روش CSS در مجموع برای هر مثال ۱۷۰ اجرای مختلف انجام و نتایج شرح نمودارهای اشکال ۳ و ۴ برای مثال ۱ و اشکال ۶ و ۷ برای مثال ۲ خلاصه شده است. همان طور که در نمودارهای موردنظر مشاهده می شود، پارامتر بازه زمانی تأثیر فراوانی در روند بهینه یابی دارد. لذا اتخاذ مقدار مناسب برای آن امری ضروری و مهم است. با توجه به نتایج حاصل، مقدار واحد برای بازه زمانی توصیه می شود، چراکه در هر دو مثال حاضر بهترین روند بهینه یابی را نسبت به سایر حالات از خود نشان داده است. پس از این حالت، اتخاذ حالتی پویا با روند کاهنده (حالت ۳) برای پارامتر بازه زمانی مناسب است. این حالت نیز پس از مقدار واحد، روند مناسبی در فرآیند بهینه یابی نسبت به سایر حالات دارد. در این حالت ابتدا مقدار پارامتر Δt بالا بوده و با افزایش تعداد دفعات تکرار مقدار آن بصورت خطی کاهش می یابد.

۵. مراجع

1. Dreoj, J., Petrowski, A., Siarry, P., Taillard, E. (2006), "Metaheuristics for hard optimization", Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
2. Kaveh, A. and Talatahri, S. (2010), "A novel heuristic optimization method charged system search", Acta Mechanica, DoI 10-1007/s00707-009-0270-4.
3. Kaveh, A. and Talatahri, S. (2010), "A charged system search with a fly to boundary method for discrete optimum design of truss structures", Asian journal of civil engineering (Building and Housing) 11 (3), pp. 277-293.
4. Kaveh, A. and Talatahri, S. (2011), "Optimization of large-scale truss structures using modified charge system search", International Journal of optimization in civil engineering, 1, pp. 15-28.
5. Kaveh, A. and Talatahri, S. (2010), "Optimal design of skeletal structures via the charged system search algorithm", Structural and Multidisciplinary optimization, 41, pp. 215-229.
6. Kaveh, A. and Talatahri, S. (2010), "Charge system search for optimum grillage system design using the LRFD-AISC code", Journal of constructional steel research, 66, pp. 767-771.
۷. کلات جاری، و. ر. طالب پور، م. ح. (۱۳۹۰)، "بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه های خریایی توسط روش اصلاحی جستجوی چندمنظوره"، نشریه تخصصی مهندسی عمران - نقشه برداری - دانشکده فنی، دوره ۴۵، شماره ۳.
۸. کلات جاری، و. ر. ، طالب پور، م. ح. و ترکمان زاده، ج. ح. (۱۳۹۱)، "بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه ها 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.
۹. کلات جاری، و. ر. ، طالب پور، م. ح. ، عابدی، ص. و مولایی، ع. (۱۳۹۰)، "مقایسه و بررسی روند بهینه سازی سازه های خریایی با استفاده از روش جستجوی چند منظوره و روش جستجوی ذرات باردار"، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، زیباکنار، ایران، ۲۷ بهمن.
10. Lee, K. S., Geem, Z. W. (2004), "A new structural optimization method based on the harmony search algorithm", Computer and Structures, 82, pp. 781-798.
11. Kaveh, A. and Talatahri, S. (2009), "Particle swarm optimizer, ant colony strategy and harmony search scheme hybridized for optimization of truss structures", Computer and Structures, 87, pp. 267-283.
12. Juang, D. S., and Chang, W. T., (2006), "A revised discrete lagrangian-based search algorithm for the optimal design of skeletal structures using available section" Structural and Multidisciplinary optimization, 31, pp, 301-210.
13. Camp, C., Pezeshk, S., and Cao, G., (1998), "Optimized design of two-dimensional structures using a genetic algorithm", Journal of structural engineering, 124(5), pp. 551-559.