



## بررسی تأثیر ضریب تبخیر فرومون در بهینه یابی سطح مقطع قاب های فولادی براساس روش کلونی مورچگان

وحید رضا کلات جاری<sup>۱</sup>، محمد حسین طالب پور<sup>۲</sup>

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

### خلاصه

در طول دو دهه اخیر، الگوریتم کلونی مورچگان (ACO) 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 ACO نیز پارامتری همچون ضریب تبخیر فرومون نقش مؤثری در فرآیند بهینه یابی ایفا می نماید. لذا عموماً تنظیم مقدار ضریب تبخیر فرومون مستلزم فرآیند سعی و خطا است که بطور معمول براساس فضای جستجو سازه، قیود مسئله و ... تنظیم می گردد. بدین منظور در این مقاله ابتدا روند حل مسئله بهینه یابی سطح مقطع سازه ها تشریح و در ادامه میزان اثر بخشی پارامتر تبخیر فرومون 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 موردنظر مطالعه شده است. برای نیل به این هدف از مثال های بهینه یابی سازه های قابی استفاده شده است.

کلمات کلیدی: بهینه یابی، الگوریتم کلونی مورچگان، سطح مقطع، ضریب تبخیر فرومون، قاب های فولادی.

### ۱. مقدمه

از مسائل مهم در فرآیند طراحی سازه ها، یافتن کمترین مقدار سطح مقطع برای اعضا براساس قیود مسئله است. برای نیل به این هدف روش های مختلفی در زمینه بهینه یابی سازه ها مطرح شده است که شاخه مهمی از آن ها، در روش هایی تحت عنوان الگوریتم های فراابتکاری دسته بندی می شوند. الگوریتم های فراابتکاری، روش های جستجوی تصادفی هوشمند می باشند که با کمک نقاط مختلف (طرح های گوناگون)، فضای طراحی را کاوش می نمایند. منطق این الگوریتم ها به نحوی است که نیازمند تولید طرح های ارتقاء یافته متعدد در روند بهینه یابی است. یکی از این روش ها، الگوریتم کلونی مورچگان می باشد که نخستین بار توسط کولورنی و همکاران [۱] و دوریگو [۲] در سال ۱۹۹۲ با عنوان سیستم مورچه (AS) مطرح شد. این روش ابتدا برای حل مسئله فروشنده دوره گرد مورد استفاده قرار گرفت و سپس توسط سایر محققین در بهینه یابی سازه ها استفاده شد. در این راستا روش های مختلفی بر پایه اصول الگوریتم کلونی مورچگان با عناوینی همچون سیستم جامعه مورچه (ACS)، سیستم مورچه حداکثر و حداقل (MMAS)، سیستم مورچه رتبه بندی شده (RBAS)، سیستم مورچه بهترین و بدترین (BWAS) و ... پیشنهاد شده است [۳]. تئوری این روش ها با الهام از رفتار مورچگان در جستجوی غذا شکل گرفته است. مورچه ها حشرات اجتماعی نابینایی هستند که در یک جامعه با همکاری متقابل، رفتارهای مختلفی از جمله یافتن غذا از خود نشان می دهند. مورچه ها کوتاهترین مسیر بین لانه و غذا را بطور موفقیت آمیزی با استفاده از ماده شیمیایی به نام فرومون کشف می نمایند. هر مورچه هنگام حرکت از محلی به محل دیگر، مقداری فرومون در طول مسیر برای تشخیص راه برگشت و نیز تعیین مسیر توسط سایر مورچه ها، از خود به جای می گذارد. هر چه میزان فرومون یک مسیر بیشتر باشد، شانس انتخاب مسیر توسط سایر مورچگان افزایش می یابد. مقدار فرومون هر مسیر همواره متناسب با عبور دیگر مورچه ها و نیز فرآیند تبخیر در حال تغییر می باشد. پارامتر تبخیر سبب می شود تا در فرآیند جستجو غذا توسط مورچگان، مسیرهای طولانی و نافرجام، حذف شوند. بدین ترتیب در طی فرآیند جستجو، کوتاهترین مسیر کشف می شود.

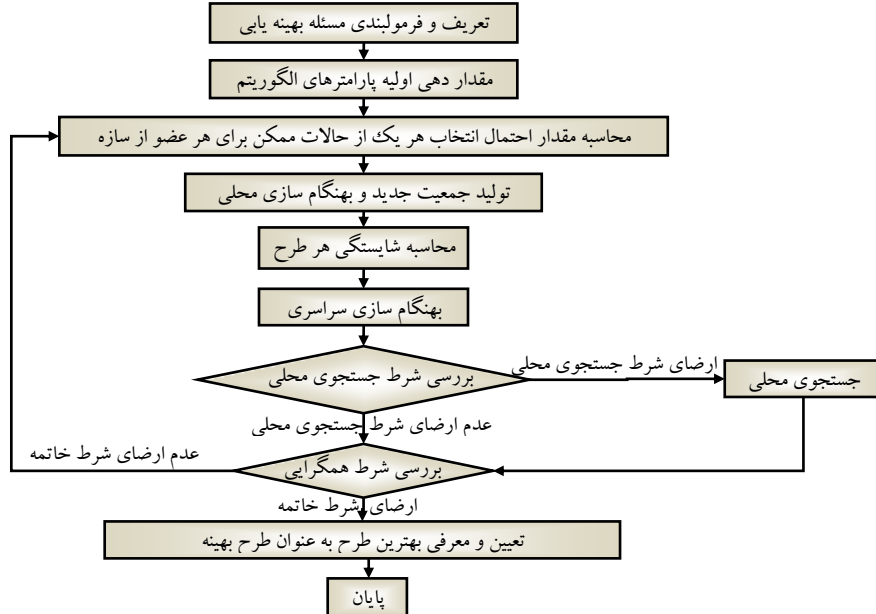
<sup>۱</sup> V\_Kalatjari@shahroodut.ac.ir

M.H.Talebpour@gmail.com

<sup>۱</sup> استادیار، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود، پست الکترونیکی:

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری سازه، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود، پست الکترونیکی:

با الهام از رفتار مورچگان در جستجوی غذا و نیز اعمال تغییراتی در فرآیند مذکور، مسائل بهینه یابی سازه ها، قابل حل می باشد. از مناسب ترین مراجع در این زمینه می توان به مقاله کمپ و همکاران [۴] اشاره نمود. در هر صورت فرآیند بهینه یابی سازه ها توسط روش کلونی مورچگان بصورت نمودار زیر نشان داده می شود.



شکل ۱- الگوریتم بهینه یابی سازه ها توسط کلونی مورچگان

در این تحقیق نخست بهینه یابی سطح مقطع قاب های فولادی بررسی و ضمن ارائه شیوه استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان در روند بهینه یابی، حالات و مقادیر مختلف ضریب تبخیر فرمون در مراحل بهنگام سازی میزان فرمون مورد توجه قرار گرفته است. در نهایت با شرح چند مثال به بررسی و ارزیابی حالات و مقادیر مختلف پارامتر مورد نظر پرداخته شده است.

## ۲. بهینه یابی از طریق الگوریتم کلونی مورچگان تعریف مسئله ۱,۲

در این بخش نحوه عملکرد الگوریتم کلونی مورچگان برای بهینه یابی سطح مقطع سازه های قابی توصیف می شود. بدین منظور در ابتدا به ارائه فرمولبندی ریاضی یک مسئله بهینه یابی سطح مقطع قاب پرداخته می شود.

بردار سطح مقطع اعضا  $[A]$ ، به نحوی تعیین شود که تابع هدف وزن  $W(A)$  کمینه شود:

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

$$[A] = [a_1, a_2, \dots, a_{Nos}]^T \quad ; \quad a_i \in S \quad ; \quad i = 1, \dots, Nos \quad (2)$$

معمولاً جهت کمینه سازی تابع  $W(A)$  قیود زیر در نظر گرفته می شود:

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

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

در روابط (۱) و (۲) تعداد اعضای سازه،  $L_i$  طول هر عضو از قاب و  $a_i$  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 قیود براساس رابطه (۳) جریمه ای به طرح مربوطه اعمال می شود. این رابطه  $g_{i1}(A)$  میزان نقض قید تنش اعضای سازه،  $\sigma_i$  تنش عضو  $i$ ام،  $\sigma_{all}$  تنش مجاز،  $Ne$  تعداد اعضای سازه است. شایان ذکر است که رابطه (۳) دلالت بر تنش کششی، فشاری و خمشی دارد که می بایست در روند بهینه یابی کنترل شود [۵].

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  $g_{i2}(A)$  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 [۵].

حال با داشتن تمامی اطلاعات مسئله، فرآیند بهینه یابی از طریق الگوریتم کلونی مورچگان قابل اجرا می باشد. برای این منظور فرآیند بهینه یابی بشرح مراحل زیر پیاده سازی می شود.

## ۲،۲ مقدار دهی اولیه

در الگوریتم های  $ACO$  مقدار فرومون از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به بیان دیگر میزان فرومون هر مسیر در انتخاب مورچه بعدی نقش اساسی ایفا می نماید. در بهینه یابی سازه ها، برای هر عضو از سازه به تعداد لیست مقاطع، حق انتخاب وجود دارد که مشابه انتخاب مسیر در طبیعت برای هر مورچه است. بدین ترتیب در ابتدا ماتریسی به نام  $T$  به ابعادی متناسب با تعداد لیست مقاطع موجود ( $Ns$ ) و تعداد متغیرهای طراحی (تعداد گروه بندی اعضای سازه ( $Nos$ )) برای مشخص نمودن میزان فرومون بشرح رابطه (۵) ایجاد می شود که هر درایه ( $T_{ij}$ ) دلالت بر میزان فرومون  $i$ امین حالت از لیست مقاطع برای  $j$ امین متغیر طراحی دارد.

$$T = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & \dots & T_{1Nos} \\ T_{21} & T_{22} & \dots & T_{2Nos} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ T_{Ns1} & T_{Ns2} & \dots & T_{NsNos} \end{bmatrix}_{Ns \times Nos} \quad (5)$$

برای مقدار دهی اولیه میزان فرومون تمامی حالات ممکن از رابطه (۶) استفاده شده است.

$$T_{ij}^0 = \frac{1}{W_{min}} \quad (6)$$

در رابطه فوق  $W_{min}$  مقدار تابع هدف به ازای اختصاص اولین حالت از لیست مقاطع به تمامی متغیرهای طراحی است [۶]. در ادامه دیگر پارامترهای الگوریتم از قبیل تعداد اعضای جمعیت، پارامترهای  $\alpha$  و  $\beta$ ، نرخ تبخیر و ... مقدار دهی می شود.

## ۳،۲ محاسبه احتمال انتخاب

پس از مقداردهی اولیه پارامترهای روش  $ACO$ ، احتمال انتخاب هر یک از حالات موجود (متناسب با لیست مقاطع) برای هر متغیر طراحی بشرح رابطه زیر محاسبه می شود.

$$p_{ij} = \frac{[T_{ij}]^\alpha [v_i]^\beta}{\sum_{k=1}^{Ns} [T_{kj}]^\alpha [v_k]^\beta} ; \quad i=1, \dots, Ns ; \quad j=1, \dots, Nos \quad (7)$$

در رابطه فوق  $p_{ij}$  دلالت بر احتمال انتخاب  $i$ امین حالت (مسیر) برای  $i$ امین متغیر طراحی دارد.  $v_i$  ضریب پدیداری برای  $i$ امین حالت از لیست مقاطع می باشد که بشرح رابطه (۸) تعریف می شود.

$$v_i = \frac{1}{a_i} ; \quad a_i \in S ; \quad i=1, \dots, Ns \quad (8)$$

همان طور که در رابطه (۸) مشاهده می شود، هر چه میزان  $a_i$  کمتر باشد مقدار  $v_i$  افزایش می یابد و بدین ترتیب احتمال انتخاب ( $p_{ij}$ )، متناظر با مقدار  $v_i$  با توجه به رابطه (۷) افزایش می یابد [۶].

در رابطه (۷)  $\alpha$  و  $\beta$  پارامترهایی هستند که بترتیب نسبی اثر فرمون و نیز ضریب پدیداری را نشان می دهند. اگر  $\alpha=0$  باشد، نسبت احتمال انتخاب ( $p_{ij}$ )، متناسب با مقدار  $v_i$  و بدنبال آن متناسب با مقدار سطح مقطع انتخابی ( $a_i$ ) مقداردهی می شود. بدین ترتیب فرآیند بهینه یابی حالت تصادفی می یابد. از سوی دیگر اگر  $\beta=0$  باشد، فقط اثر فرمون در تابع احتمال انتخاب مؤثر است که می تواند باعث همگرایی سریع و زودرس شود و بدین ترتیب احتمال کسب بهینه محلی افزایش می یابد.

## ۴،۲ تولید جمعیت جدید

پس از محاسبه مقادیر احتمال انتخاب، جمعیت جدید شکل می گیرد. براین اساس مجموع مقادیر  $p_{ij}$  برای  $i$ امین متغیر طراحی برابر یک است. حال اگر درصد احتمال بدست آمده برای  $i$ امین متغیر طراحی به صورت یک چرخ گردان نشان داده شود؛ مقادیر  $p_{ij}$  ها، قطاع های آن را تشکیل می دهد. با تولید یک عدد تصادفی بین صفر و یک، سطح مقطعی از لیست مقاطع با قطاع بزرگتر، شانس بیشتری برای انتخاب پیدا می کند. برای اجرای این روش، براساس رابطه زیر احتمال تجمعی  $\bar{P}_i$  برای  $i$ امین متغیر طراحی تعیین می شود [۷].

$$\bar{P}_i^j = \sum_{k=1}^i P_{kj} ; \quad i=1, \dots, Ns \quad (9)$$

حال عددی تصادفی در محدوده صفر تا یک تولید می شود. با مقایسه مقدار عدد تصادفی با مقادیر  $\bar{P}_i$ ، سطح مقطع انتخابی از لیست مقاطع مشخص می شود. این روال برای تمامی متغیرهای طراحی انجام شده و بدین ترتیب طرح جدید شکل می گیرد. فرآیند فوق به تعداد اعضای جمعیت تکرار می شود تا جمعیت جدید براساس مقادیر  $p_{ij}$  مبتنی بر میزان  $T_{ij}$  شکل گیرد. پس از تشکیل جمعیت جدید، میزان فرمون متناظر با تمامی سطوح مقطع انتخابی (مسیرهای طی شده) برای هر متغیر طراحی با ضریب ثابتی بصورت رابطه زیر کاهش می یابد.

$$T_{ij}^{new} = \rho_0 T_{ij}^{old} \quad (10)$$

در رابطه فوق رونیوس  $new$  و  $old$  به ترتیب دلالت بر میزان فرمون جدید و قدیم دارند.  $\rho_0$  نیز ضریب بهنگام سازی محلی است که عددی در محدوده صفر تا یک می باشد. این پارامتر در مرحله اول توسط کاربر مشخص می شود. براساس رابطه (۱۰) که دلالت بر بهنگام سازی محلی دارد، از انبار شدن نامحدود فرمون در هر مسیر جلوگیری می شود و بدین ترتیب تصمیمات نامطلوب فراموش می شود [۶].

## ۵،۲ محاسبه شایستگی

با توجه به آنکه الگوریتم کلونی مورچگان برای مسائل بهینه یابی نامقید مناسب می باشد، لذا ضروری است مسئله بهینه یابی مقید را به یک مساله بهینه یابی نامقید تبدیل کنیم. این کار می تواند با استفاده از تابع جریمه و تابع هدف اصلاح شده صورت پذیرد. تابع جریمه یا پنالتی، همان طور که از نامش مشخص است، مقداری است که به عنوان جریمه به تابع هدف اعمال می شود؛ این جریمه به دلیل نقض قیود می باشد. طبیعی است هر طرحی که قیود مسئله را بیشتر نقض نماید، مقدار تابع جریمه متناظر با آن بیشتر است و بالطبع مقدار تابع هدف اصلاح شده آن افزایش می یابد. در این مقاله تابع جریمه بشرح رابطه (۱۱) در نظر گرفته شده است [۸].

$$f_{penalty} = W(A) \times K \times C \quad C = \sum_{q=1}^{nlc} \sum_{g=1}^Q \max[0, Gq] \quad (11)$$

در رابطه فوق  $f_{penalty}$  تابع جریمه،  $W(A)$  تابع هدف که وزن سازه است،  $Gq$  میزان نقض سازه در ارتباط با هر یک از قیود،  $A$  بردار متغیرهای طراحی و  $Q$  تعداد کل قیود حاکم بر مساله می باشد.  $nlc$  تعداد حالات بارگذاری و ثابت  $K$  نیز برابر ۱۰ در نظر گرفته شده است [۸]. حال با در نظر گرفتن مقادیر تابع پینالی، تابع هدف اصلاح شده بشرح رابطه زیر تعریف می گردد.

$$F_{mf}(A) = W(A) + f_{penalty} \quad (12)$$

در رابطه فوق  $F_{mf}$  مقادیر تابع هدف اصلاح شده برای هر طرح در جمعیت جاری می باشد. پس از محاسبه مقادیر تابع هدف اصلاح شده متناظر با هر طرح، جمعیت حاضر براساس میزان آن رتبه بندی و مرتب می شوند [۹].

## ۶،۲ بهنگام سازی سراسری میزان فرومون

پس از مرتب سازی جمعیت حاضر براساس تابع هدف اصلاح شده، مقدار فرومون کلیه حالات در لیست مقاطع برای تمامی متغیرهای طراحی با ضریبی تحت عنوان نرخ تبخیر بشرح رابطه زیر کاهش می یابد [۶].

$$[T]^{new} = (1 - e_r)[T]^{old} \quad (13)$$

به عبارت دیگر براساس رابطه فوق کلیه درایه های ماتریس فرومون براساس نرخ تبخیر کاهش می یابد. مقدار نرخ تبخیر، تأثیر بسزایی در روند بهینه یابی براساس الگوریتم کلونی مورچگان دارد، چراکه نرخ تبخیر بالا سبب تصادفی شدن فرآیند جستجو و نرخ تبخیر پایین سبب همگرایی سریع و زودرس الگوریتم می شود. لذا در این حالت احتمال کسب بهینه محلی بالا می رود.

در این مقاله برای بررسی تأثیر نرخ تبخیر فرومون، مثال های رایج عددی در حالات متفاوت برای نرخ تبخیر بشرح زیر مورد ارزیابی قرار گرفته است: حالت (۱) در این حالت نرخ تبخیر بصورت مقداری ثابت لحاظ شده است. بدین منظور نرخ تبخیر برابر مقادیر ثابت ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ... و ۰/۹ در اجرای متفاوت فرآیند بهینه یابی در نظر گرفته شده است. در این حالت برای گریز از تأثیر پارامترهای تصادفی در روند بهینه یابی، به ازای هر مقدار نرخ تبخیر، ۱۰ اجرای مستقل برای فرآیند بهینه یابی صورت گرفته است. سپس میانگین سیر همگرایی اجراهای متفاوت برای نرخ های تبخیر مختلف (میانگین ۹۰ اجرا)، بصورت نماینده سیر همگرایی مربوط به نرخ تبخیر ثابت ارائه شده است. حالت (۲) در این حالت مقدار نرخ تبخیر فرومون بصورت افزایشی در کل فرآیند بهینه یابی تغییر می نماید. به عبارت دیگر در ابتدا احتمال کمی برای نرخ تبخیر فرومون منظور شده و در طی عملیات بهینه یابی، مقدار  $e_r$  بصورت خطی متناسب با نسبت شماره تکرار به تعداد کل تکرارها، براساس رابطه زیر افزایش می یابد.

$$e_r = e_r^{Min} + (e_r^{Max} - e_r^{Min}) \frac{t}{T} \quad (14)$$

در رابطه فوق،  $e_r^{Min}$  و  $e_r^{Max}$  بترتیب مقادیر حداکثر و حداقل نرخ جهش و  $T$  تعداد کل تکرارها در عملیات بهینه یابی است که در ابتدا تخصیص می یابد.  $t$  شماره تکرار حاضر از عملیات بهینه یابی است.

حالت (۳) این حالت مشابه حالت (۲) است با این تفاوت که مقدار نرخ تبخیر فرومون در کل فرآیند بهینه یابی بصورت کاهشی تغییر می نماید. به عبارت دیگر در انتهای عملیات بهینه یابی احتمال کمی برای نرخ تبخیر فرومون منظور شده و در طی عملیات بهینه یابی، مقدار  $e_r$  بصورت خطی متناسب با نسبت شماره تکرار به تعداد کل تکرارها، براساس رابطه زیر کاهش می یابد.

$$e_r = e_r^{Max} - (e_r^{Max} - e_r^{Min}) \frac{t}{T} \quad (15)$$

شایان ذکر است که در حالات (۲) و (۳) مقادیر حداقل و حداکثر نرخ تبخیر فرومون بترتیب برابر ۰/۱ و ۰/۹ لحاظ شده است. از سوی دیگر در این حالات 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.

پس از انجام فرآیند تبخیر سراسری فرومون، نوبت به اعمال عملیات بجای گذاری فرومون بر روی مسیرهای طی شده می رسد. برای این منظور مقالات مختلف، پیشنهادات متنوعی برای شیوه بجای گذاری فرومون جهت بهبود عملکرد الگوریتم ارائه داده اند [۶]. در این مقاله مقدار فرومون حالتی از لیست مقاطع برای متغیرهای طراحی که در مرحله انتخاب، برگزیده شده اند (مسیرهای طی شده) بشرح زیر افزایش می یابد.

$$T_{ij} = T_{ij} + e_r \cdot \left[ (\Delta T_{ij}) + \sum_{k=1}^{\lambda_r} (\lambda_r - k) (\Delta T_{ij})_k \right] \quad (16)$$

در رابطه فوق  $\lambda_r$  تعداد منتخب از بهترین طرح های جمعیت حاضر می باشد و  $k$  شماره طرح موردنظر در جمعیت کوچک بهترین ها می باشد. بدین ترتیب در مسیرهای طی شده توسط بهترین های جمعیت منتخب، فرومون بیشتری نسبت به سایر مسیرها قرار می گیرد. این شیوه سبب افزایش سرعت همگرایی الگوریتم می شود [۶]. در رابطه (۱۶) میزان فرومون گذاشته شده در مسیر  $ij$  می باشد که به کیفیت جواب حاصل از  $k$ امین عضو از جمعیت بستگی دارد، لذا بشرح زیر محاسبه می شود.

$$(\Delta \tau_{ij})_k = \frac{1}{F_{mf}(A)^k} \quad (17)$$

در رابطه فوق  $F_{mf}(A)^k$  مقدار تابع هدف اصلاح شده مربوط به هر طرح در جمعیت حاضر می باشد.

## ۷,۲ جستجوی محلی

در مقاله حاضر در صورتی که در چند نسل متوالی از عملیات بهینه یابی، تغییری در مقدار شایستگی بهترین طرح جمعیت حاصل نشود، فرآیند جستجوی محلی در پیش گرفته می شود. برای این منظور ماتریس فرومون بشرح زیر تغییر می نماید [۹].

فرومون مربوط به محدوده ای از حالات ممکن در لیست مقاطع در اطراف بهترین طرح برابر مقدار فرومون اولیه و مابقی فرومون ها در ماتریس فرومون برابر صفر منظور می شود. محدوده موردنظر براساس درصد مشخصی که در مرحله اول مشخص می شود، برای تعریف همسایگی بهترین طرح به کار گرفته می شود. به بیان دیگر چند سطح مقطع در بالا و پایین بهترین طرح در لیست مقاطع به عنوان محدوده همسایگی تعریف شده و فرومون متناظر با آن ها در ماتریس فرومون برابر مقدار فرومون اولیه و بقیه درایه های ماتریس فرومون برابر صفر منظور می شود. سپس فرآیند بهینه یابی مبتنی بر الگوریتم کلونی مورچگان ادامه می یابد. استفاده از جستجوی محلی سبب می شود تا در ادامه محدوده بهترین طرح با دقت بیشتری کاوش شود. البته شایان ذکر است که محدوده موردنظر و نیز تعداد تکرارها برای ورود به جستجوی محلی، پارامترهای مهم و حساسی می باشند که می بایست با دقت انتخاب شوند.

## ۸,۲ بررسی شرط همگرایی

روش های متنوعی برای بررسی شرط خاتمه در الگوریتم های فراابتکاری وجود دارد. در این تحقیق، شرط خاتمه الگوریتم کلونی مورچگان با تکمیل تعداد مراحل تکرار کنترل می شود. به عبارت دیگر الگوریتم ACO مراحل فوق را با محاسبه احتمال انتخاب و تولید جمعیت جدید 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. مثال های عددی

جهت بررسی عملکرد شیوه های مختلف ضریب تبخیر فرومون، چند مثال بشرح زیر مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۱,۳ قاب پنج طبقه، دو دهانه

همانند شکل ۲ قابی با پنج طبقه و دو دهانه، در نظر گرفته شده 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  $166.6 \text{ MPa} \pm$  و تغییر مکان مجاز برای گره های آخرین طبقه برابر  $1/500$  ارتفاع قاب در نظر گرفته شده است. بارهای مرده ( $DL$ )، زنده ( $LL$ ) و بار باد ( $WL$ ) در سه حالت بشرح ترکیبات زیر به سازه اعمال و مقادیر و جهت بارهای مذکور در جدول ۱ تعریف شده است.

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

ii)  $DL+WL$

iii)  $DL+LL$

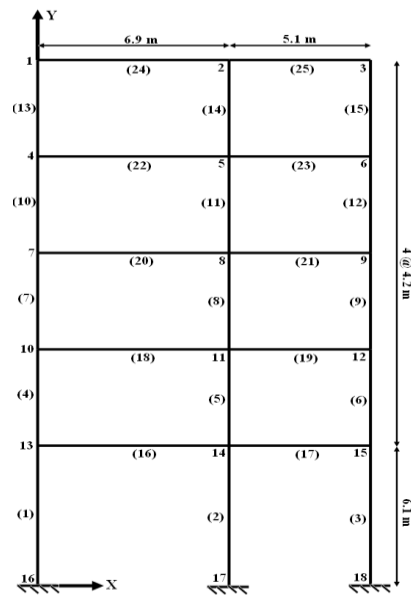
جدول ۱- مقادیر و جهت بارهای اعمالی بر قاب ۵ طبقه دو دهانه

نوع بار	بزرگی بار	موقعیت بار
بار مرده	$w_y = -11/76 \text{ kN/m}$	اعضای ۱۶، ۱۷، ۱۸، ...، ۲۴ و 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	$P_x = 5/684 \text{ kN}$
$P_x = 7/252 \text{ kN}$		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.

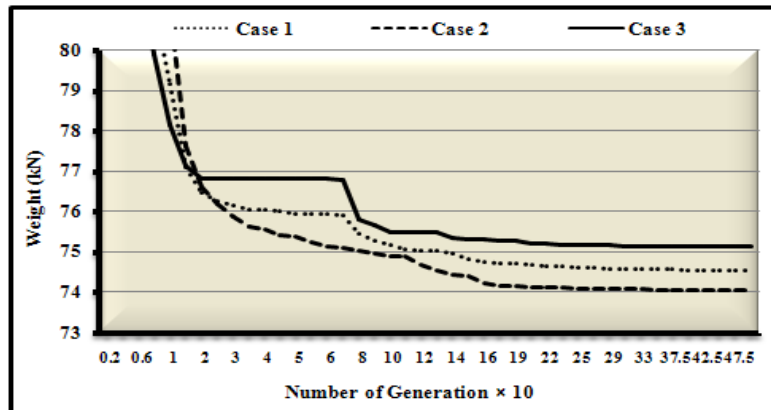
جدول ۲- لیست مقاطع برای قاب ۵ طبقه دو دهانه

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



شکل ۲- قاب ۵ طبقه دو دهانه

این مثال توسط حالات مختلف ضریب تبخیر فرمون مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل ۳ سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی را توسط حالات مختلف ضریب تبخیر فرمون نشان می دهد.

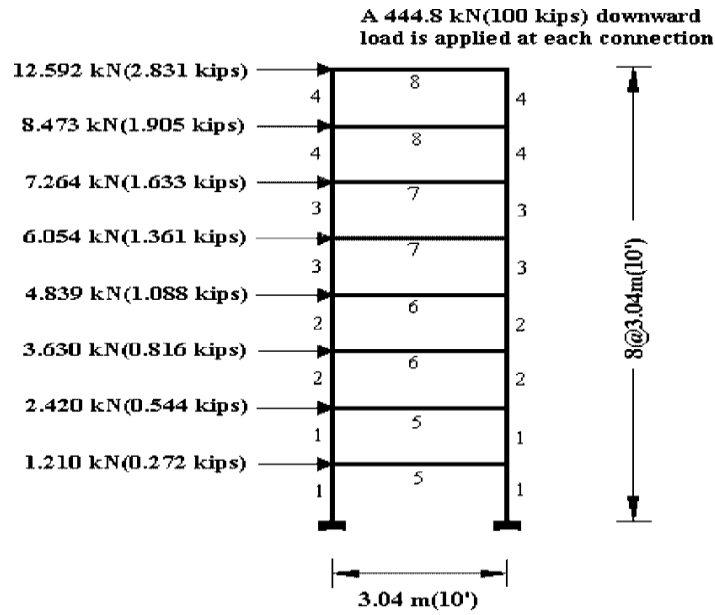


شکل ۳- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی توسط حالات مختلف ضریب تبخیر فرمون برای قاب ۵ طبقه دو دهانه

## ۲,۳ قاب هشت طبقه یک دهانه

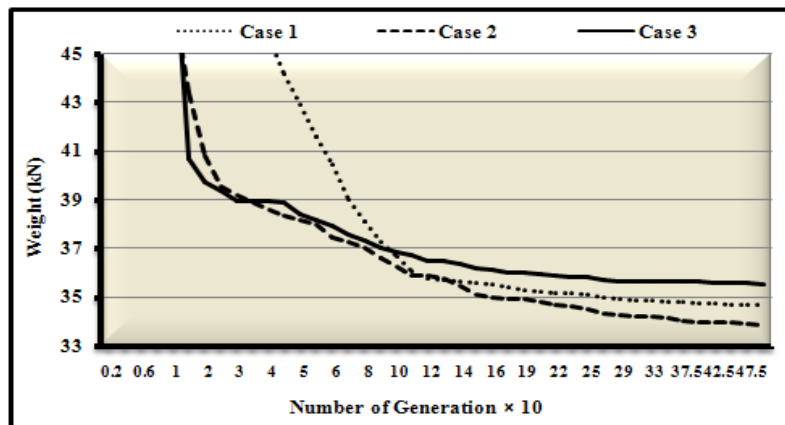
در این مثال به بررسی قابی با هشت طبقه و یک دهانه بشرح شکل ۴ پرداخته شده است [۱۱]. برای کلیه اعضای قاب مدول الاستیسیته و چگالی بترتیب برابر  $200\text{ GPa}$  و  $76/8\text{ kN/m}^3$  و تنها قید تغییر مکان با مقدار مجاز  $5/8\text{ cm}$  برای گره های طبقه آخر در نظر گرفته شده است. بارهای مؤثر بر سازه نیز بشرح شکل ۴ در نظر گرفته شده است. اعضای قاب مذکور نیز در ۸ گروه بشرح شکل ۴ دسته بندی شده و می بایست از لیست ۲۶۸ تایی مقاطع  $W$  بشرح مرجع [۱۱] انتخاب شوند.





شکل ۴- قاب هشت طبقه یک دهانه

برای این مثال نیز همانند مثال پیشین، حالات مختلف ضریب تبخیر فرمون مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل ۹ سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی را نشان می دهد.



شکل ۵- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی توسط حالات مختلف ضریب تبخیر فرمون برای قاب ۸ طبقه یک دهانه

#### ۴. نتیجه گیری

همان طور که در نمودارهای اشکال ۳ و ۵ مشاهده می شود، حالت نرخ تبخیر افزایشی فرمون متناسب با شماره تکرار (حالت ۲) از دیگر حالات، فرآیند بهینه یابی را بهتر طی نموده است. این حالت پویا، در کیفیت میانگین جواب نهایی نیز از سایر حالات موفق تر بوده است. در این حالت میزان نرخ تبخیر در ابتدای فرآیند بهینه یابی کم بوده و با گذشت تعداد دفعات تکرار، مقدار نرخ تبخیر به آهستگی افزایش می یابد تا بدین سان احتمال انتخاب سطوح مقطعی که سبب کاهش کیفیت طرح بهینه می شوند، به آرامی کم شود. از سوی دیگر استفاده از این حالت، فرآیند سعی و خطا را برای انتخاب نرخ تبخیر مناسب از بین می برد. لذا پیشنهاد می شود که نرخ تبخیر فرمون در روند بهینه یابی مبتنی بر الگوریتم کلونی مورچگان بصورت افزایشی متناسب با شماره تکرار تغییر نماید. استفاده از نرخ تبخیر با روند کاهشی توصیه نمی شود، زیرا همان طور که در نمودارهای ۳ و ۵ مشاهده می شود، در روند بهینه یابی و نیز میانگین کیفیت جواب نهایی موفق نبوده است. استفاده از نرخ تبخیر ثابت نیز توصیه نمی شود، چراکه تنظیم و اتخاذ مقداری مناسب برای این پارامتر مستلزم فرآیند سعی و خطا است.



## ۵. مراجع

1. Colorni, A., Dorigo M., Maniezzo, V. (1991), "Distributed optimization by ant colony", Proceeding of the first European conference on artificial life, USA, pp. 134-142.
2. Dorigo M. (1992), "*Optimization, learning and natural algorithm*", PhD thesis, Dipartimento Elettronica e informazione, Politecnico di Milano, Italy.
3. Cordón, O., Herrera, F., Stützle, T. (2002), "A review on ant colony optimization metaheuristic: basic, models and new trends", Journal of mathware and soft computing. **9**. pp. 1-35.
4. Camp, C. V., Bichon, J. B., Stovall, S. P. (2004), "Design of steel frames using ant colony optimization" ASCE, Journal of Structural Engineering. **131** (3), pp. 369-379.
۵. کلات جاری، و. ر. طالب پور، م. ح. (۱۳۹۰)، " بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه های خرابایی توسط روش اصلاحی جستجوی چندمنظوره، " نشریه تخصصی مهندسی عمران - نقشه برداری - دانشکده فنی، دوره ۴۵، شماره ۳.
6. Hasançebi, O., Çarbaş, S., Doğan, E., Erdal, F., and Saka, M. P. (2009), "Performance evaluation of metaheuristic search techniques in the optimum design of real size pin jointed structures" Computers and Structures. **87**, pp. 284-302.
۷. کلات جاری، و. ر. طالب پور، م. ح. (۱۳۹۰)، " بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه ها از طریق الگوریتم ژنتیک و بررسی تأثیر روش های گوناگون فرآیند انتخاب در روند بهینه یابی، " ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.
۸. کلات جاری، و. ر. طالب پور، م. ح. و رحیمی، و. (۱۳۹۰)، " بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه ها از طریق الگوریتم ژنتیک و بررسی تأثیر اپراتورهای پیوند در روند بهینه یابی، " ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.
9. Capriles V. S. Z., Fonseca L. G., Barbosa H. J. C., Lemonge A. C. C. (2007), "Rank-based ant colony algorithms for truss weight minimization with discrete variables". Communications in numerical methods in engineering, **23**, pp. 553-575.
10. 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.
11. Camp, C., Pezeshk, S., and Cao, G., (1998), "Optimized design of two-dimensional structures using a genetic algorithm", Journal of structural engineering, pp. 551-559.