



طراحی بهینه لرزه‌ای بر مبنای عملکرد قابهای فولادی با استفاده از الگوریتمهای خفاش و اجتماع ذرات

رضا کامیاب مقدس

استادیار، جهاد دانشگاهی، کرمان، ایران

r_kamyab_m@yahoo.com

چکیده

طراحی بهینه سازه‌ها در برابر زلزله از زمینه‌های تحقیقاتی فعال در حوزه مهندسی سازه و زلزله بشمار می‌آید. از اینرو بهینه‌سازی لرزه‌ای قابهای خمشی فولادی با استفاده از الگوریتمهای فراابتکاری هدف اصلی تحقیق حاضر می‌باشد. الگوریتم فراابتکاری خفاش که از جدیدترین الگوریتمها بحساب می‌آید در این تحقیق جهت بهینه‌سازی بر مبنای عملکرد قابهای خمشی فولادی مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج آن با نتایج بدست آمده از الگوریتم اجتماع ذرات مورد مقایسه واقع شده است. نتایج حاصل بیانگر این هستند که الگوریتم فراابتکاری خفاش دارای عملکرد محاسباتی بسیار بهتری نسبت به الگوریتم اجتماع ذرات می‌باشد. بنابراین روش ارائه شده در این تحقیق می‌تواند برای طراحی سازه‌های اقتصادی و در عین حال ایمن در برابر زلزله بصورت موثر بکار بسته شود.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی سازه‌ها، قاب بتنی مسلح، الگوریتم جامعه پرندگان

1. مقدمه

مهندسی زلزله مبتنی بر عملکرد¹ حاکی از طراحی، ارزیابی، ساخت و ساز و تعمیر و نگهداری از تسهیلات مهندسی به منظور پاسخگویی به اهدافی است که توسط مالکان یا کاربران این تسهیلات تعیین شده است. هدف این است که سازه‌ها در مقابل زلزله عملکرد قابل پیش‌بینی و قابل اطمینانی داشته باشند. به عبارت دیگر به منظور کمک به مهندسان طراح برای تصمیم‌گیری در رابطه با عملکرد دلخواه، سازه باید قادر به مقاومت در برابر زلزله با اطمینانی قابل‌سنجش باشد. بنابراین مفهوم رویکرد نوین طراحی لرزه‌ای سازه‌ها این است که سازه باید اهداف مبتنی بر عملکرد متعددی که برای سطوح خطر متفاوت،

¹ Performance-based earthquake engineering



اعم از زلزله‌ها با شدت کوچک و دوره بازگشت کوتاه تا رویدادهای مخرب‌تر با دوره بازگشت‌های طولانی‌تر، را تامین کند [1].

در روند طراحی لرزه‌ای سیستم‌های سازه‌ای تعداد پارامترهایی که عملکرد سازه و در نتیجه طراحی را تحت تاثیر قرار می‌دهند معمولاً زیاد است. در این حالت تشخیص اینکه آیا حل کنونی بهترین حل ممکن است یا هنوز فضا برای یافتن حلی که ملزومات آیین‌نامه‌های طراحی را ارضا کند و هزینه کمتری داشته باشد کاری دشوار است. در مواجهه با کمبود مصالح و افزایش قیمت آنها یافتن طرح سازه‌ای مقرون به صرفه با عملکرد بهبود یافته یکی از نگرانی‌های اصلی در حیطه مهندسی سازه است. برای رسیدن به این هدف روش‌های بهینه‌سازی در چند دهه اخیر توسعه فراوانی یافته است [2]. از آنجا که هزینه مصالح یکی از فاکتورهای اساسی در ساخت سازه‌هاست توجه ویژه به این مورد و کاهش آن به وسیله مینیمم کردن حجم یا وزن سازه روشی مناسب برای کاهش هزینه‌های ساخت و ساز است. برای دستیابی به این مقصود انتخاب یک روش مناسب برای بهینه‌سازی از اهمیت زیادی برخوردار است. الگوریتم خفاش که به تازگی توسط Yang معرفی شده است، عملکرد مناسبی در حل بسیاری از مسائل شناخته شده بهینه‌سازی از خود نشان داده است. در این تحقیق عملکرد دو الگوریتم خفاش¹ و اجتماع ذرات² در بهینه‌سازی مبتنی بر عملکرد یک قاب ده طبقه فولادی مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن است که عملکرد الگوریتم BAT بهتر از الگوریتم PSO می‌باشد.

2. طراحی بر مبنای عملکرد

در طراحی بر مبنای عملکرد برای هر سطح خطر یک سطح عملکرد مشخص تعریف می‌شود. بنابراین اولین گام تعیین اهداف عملکردی و پس از آن تعیین سطح خطر مربوطه است. در تحقیق حاضر سه سطح عملکردی (1) قابلیت استفاده بی وقفه³ (IO)، (2) ایمنی جانی⁴ (LS)، (3) آستانه فروریزش⁵ (CP) مطابق با FEMA-356 در نظر گرفته شده است. هر سطح عملکرد مربوط به یک احتمال وقوع در 50 سال است که برای سطوح عملکرد IO، LS و CP به ترتیب 20%، 10% و 2% در نظر گرفته شده است.

¹ BAT Algorithm

² PSO Algorithm

³ Immediate occupancy

⁴ Life safety

⁵ Collapse prevention



در این تحقیق از روش استاتیکی غیر خطی (روش پوش‌آور¹) برای دستیابی به پاسخ غیرخطی سازه استفاده شده است. بدین صورت که سازه تحت یک الگوی توزیع بار جانبی مشخص قرار می‌گیرد تا به یک تغییر مکان هدف برسد. تغییر مکان هدف مطابق FEMA-356 از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (1)$$

در اینجا C_0 ضریب اصلاح برای ارتباط تغییر مکان طیفی سیستم یک درجه آزادی به تغییر مکان بام سیستم چند درجه آزادی است، C_1 مربوط به حداکثر جابجایی غیر الاستیک مورد انتظار به جابجایی محاسبه شده برای پاسخ الاستیک خطی است، C_2 نشان دهنده اثر انعطاف‌پذیری بر پاسخ سازه است و C_3 اثر P-delta را در نظر می‌گیرد. T_e دوره تناوب اصلی موثر سازه در جهت مورد بررسی است و S_a طیف پاسخ شتاب مربوط به T_e است. در یک مسئله بهینه‌سازی سازه هدف معمولاً کمینه کردن وزن سازه تحت قیود رفتاری مشخص است. در این تحقیق مقاطع اعضا از بین 267 مقطع W-Section انتخاب می‌شوند. فرمول‌بندی مسئله بهینه‌سازی می‌تواند به صورت زیر تعریف شود:

$$\begin{aligned} \text{Minimize: } w(X) &= \sum_{i=1}^{ng} \rho_i A_i \sum_{j=1}^{nm} L_j \\ \text{subject to: } g_k(X) &\leq 0, k = 1, 2, \dots, nc \\ X &= \{x_1 \ x_2 \ \dots \ x_i \ \dots \ x_{ng}\}^T \end{aligned} \quad (2)$$

که در آن X متغیر طراحی، W وزن سازه، ρ چگالی مصالح مصرفی، A سطح مقطع اعضا، L طول هر عضو، nm تعداد المان‌های قاب و ng تعداد متغیرهای طراحی است که از گروه‌بندی اعضا به دست می‌آیند. همچنین در این روابط $g(X)$ نشان دهنده قیدهای رفتاری است و nc تعداد این قیود است که به فراخور مسئله در نظر گرفته می‌شوند.

در این تحقیق شیوه برخورد با قیود رفتاری استفاده از روش تابع پنالتی خارجی می‌باشد که با استفاده از رابطه زیر قابل بیان است:

$$\phi(X, r_p) = w(X) \left(1 + r_p \sum_{k=1}^{nc} (\max\{0, g_k\})^2 \right) \quad (3)$$

که در آن ϕ تابع هدف بعد از اعمال قیود است و r_p ضریب پنالتی است که معمولاً یک مقدار مثبت بزرگ اختیار می‌شود.

¹ Pushover analysis

3. الگوریتم‌های فراکاوشی

الگوریتم‌های فراکاوشی روش‌هایی برای حل مسائل بهینه‌سازی هستند که عمدتاً با الهام از طبیعت به وجود آمده‌اند. این الگوریتم‌ها به دلیل سادگی در اجرا، سرعت مناسب همگرایی و توانایی حل مسائل پیچیده به یکی از محبوبترین روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی در سال‌های اخیر تبدیل شده‌اند. در این تحقیق به معرفی دو الگوریتم خفاش (BAT Algorithm) و اجتماع ذرات (PSO Algorithm) پرداخته و از این دو الگوریتم برای حل مسئله بهینه‌سازی استفاده می‌شود و در پایان عملکرد این دو مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

3. الگوریتم اجتماع ذرات (PSO)

الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات، رفتار اجتماعی گروهی از موجودات زنده که به صورت جمعی زندگی می‌کنند مانند مورچه‌ها، زنبورهای عسل، موریانه‌ها، دسته‌ای از پرندگان یا گروهی از ماهی‌ها را شبیه‌سازی می‌کند. این الگوریتم برای اولین بار توسط Kennedy و Eberhart در 1995 ارائه شد. PSO از جمله الگوریتم‌های شناخته شده در زمینه بهینه‌سازی سازه‌ها می‌باشد که کارایی مطلوبی در حل بسیاری از مسائل از خود نشان داده است. این الگوریتم شامل گروهی از ذرات می‌باشد که در ابتدا به صورت رندم در فضای جستجو منتشر شده‌اند. هر ذره این اجتماع یک جواب بلقوه برای مسئله بهینه‌سازی است. ذرات در فضای جستجو حرکت می‌کنند و مکان آنها در هر تکرار با توجه به بهترین موقعیت فردی و همچنین بهترین موقعیت اجتماع ذرات به‌روز می‌شود. تابع هدف برای هر ذره محاسبه می‌شود تا مشخص شود که کدام ذره در فضای جستجو بهترین موقعیت را دارد. روابط به روزرسانی سرعت و مکان هر ذره در تکرار k ام در زیر آورده شده است:

$$V_i^{k+1} = \omega^k V_i^k + c_1 r_1 (P_i^k - X_i^k) + c_2 r_2 (P_g^k - X_i^k) \quad (4)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (5)$$

در این روابط x_i و v_i سرعت و مکان ذره i ام و P_i بهترین مکان ذره نام و P_g بهترین موقعیت اجتماع ذرات است. r_1 و r_2 دو عدد رندم در بازه $[0, 1]$ و c_1 و c_2 عموماً به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که مجموعشان از 4 کمتر باشد. ضریب اینرسی ω نیز مطابق رابطه زیر در هر تکرار به‌روز می‌شود:

$$\omega = \omega \times \omega_{damp} \quad (6)$$

که در آن مقدار اولیه ω برابر با 1 و ω_{damp} برابر با 0.99 در نظر گرفته شده‌است.

4. الگوریتم خفاش (BAT Algorithm)

نقش طبیعت به عنوان منبع الهام الگوریتم‌های بهینه‌سازی جدید غیرقابل انکار است. بر این مبنا الگوریتم جدیدی ابداع شده که الگوریتم خفاش (BAT) نامیده می‌شود و از رفتار مکان‌یابی صوتی خفاش‌ها الهام گرفته شده‌است. مکان‌یابی صوتی یک سیستم جهت‌یابی پیشرفته مبتنی بر شنوایی است که توسط خفاش‌ها و چند جانور دیگر استفاده می‌شود. این جانوران با انتشار صوت در محیط پیرامون به جستجوی اشیا و شکار در اطرافشان می‌پردازند. در حالت کلی مکان‌یابی صوتی سه ویژگی دارد به نام‌های فرکانس امواج، نرخ انتشار امواج و بلندی یا شدت. خفاش‌ها هنگام پرواز امواج صوتی با فرکانس متغیر بین 25KHZ تا 100KHZ منتشر می‌کنند که بستگی به فاصله تقریبی هدف مورد نظرشان دارد. هرچند امواج با فرکانس پایین‌تر تا فاصله دورتری نسبت به امواج با فرکانس بالاتر منتشر می‌شود، اما فرکانس‌های بالاتر جزئیات و اطلاعات شناختی بیشتری در مورد اشیای پیرامون به خفاش می‌دهد. از سوی دیگر نرخ امواج که برابر با تعداد موج منتشرشده در ثانیه است، نیز توسط خفاش با توجه به فاصله هدف مورد نظر قابل تنظیم است. ثابت شده‌است که خفاش وقتی به هدف نزدیک می‌شود نرخ انتشار امواج را تا 200 موج در ثانیه افزایش می‌دهد. همچنین خفاش‌ها وقتی به شکار نزدیک می‌شوند بلندی یا شدت صدا را کاهش می‌دهند. Yang این رفتار مکان‌یابی صوتی خفاش‌ها را به شکل یک روند بهینه‌سازی عددی شبیه‌سازی کرده که به الگوریتم خفاش شناخته می‌شود. در این الگوریتم، ویژگی‌های مکان‌یابی صوتی میکروخفاش‌ها که ایده آل‌سازی شده‌اند به شرح زیر است:

1. همه خفاش‌ها از ویژگی مکان‌یابی صوتی خود برای اندازه‌گیری فاصله استفاده می‌کنند. آنها همچنین تفاوت بین غذا و موانع را به طریقی جادویی می‌دانند.

2. خفاش ها به صورت تصادفی با سرعت v در مکان x با فرکانس ثابت f و طول موج متغیر λ با بلندی A^0 به جستجوی غذا میپردازند. آنها به صورت اتوماتیک فرکانس یا طول موج امواج ارسالی را با دوری یا نزدیکی به هدف تنظیم میکنند.

3. هرچند بلندی می تواند به طرق مختلفی تغییر کند فرض می شود بلندی صدا از یک مقدار بلند حداکثر به مقدار ثابت حداقل تغییر کند.

برای هر خفاش مکان x_i و سرعت v_i در فضایی با d بعد باید تعریف شده و باید به طریق مناسبی در تکرارها به روز شود. سرعت v_i^t و حل جدید x_i^t در گام زمانی t از روابط زیر استفاده می شود:

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})\beta \quad (7)$$

$$V_i^t = V_i^{t-1} + (X_i^{t-1} - X^*)f_i \quad (8)$$

$$X_i^t = X_i^{t-1} + V_i^t \quad (9)$$

در حالی که β عدد رندمی است که در فاصله بین 0 و 1 اختیار می شود. در اینجا x^* بهترین حل کلی حاضر است. که بعد از مقایسه مکان همه n خفاش در هر تکرار به دست می آید. برای بخش جستجوی تصادفی، مکان جدید خفاش ها از رابطه زیر به دست می آید:

$$X_{new} = X_{old} + \varepsilon A^t \quad (10)$$

وقتی که خفاش شکار خود را پیدا کرد، بلندی معمولاً کاهش و نرخ امواج ارسالی افزایش مییابد. کاهش بلندی و افزایش نرخ انتشار امواج تا رسیدن به نرخ ثابت r_i^0 با استفاده از روابط (II) و (I2) صورت میگیرد:

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \quad (11)$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - e^{-\gamma t}] \quad (12)$$

الگوریتم خفاش به پارامترهای α و γ بسیار حساس بوده و با توجه به ابعاد فضای جستجو باید مقدار مناسبی برای آن اختیار شود.

5. تحلیل و طراحی قابهای فولادی

در این تحقیق دو نوع قید در روند بهینه سازی مورد بررسی قرار گرفت. دسته اول قیود مربوط به بار ثقلی بود که

برای هر المان مطابق روابط بررسی شد. در این حالت ترکیب بار وارده به سازه به صورت رابطه (13) بوده است.

$$Q_g^S = 1.2Q_D + 1.6Q_L \quad (13)$$

و در آن Q_D بار مرده و Q_L بار زنده است.

مطابق معیار LRFD-AISC هر عضو سازه باید معادلات زیر را ارضا کند:

$$\text{for } \frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.2; \quad \frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) - 1 \leq 0 \quad (14)$$

$$\text{for } \frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0.2; \quad \frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) - 1 \leq 0$$

که در آن P_u مقاومت

لازم، P_n مقاومت اسمی محوری، ϕ_c ضریب کاهش مقاومت محوری که برای کشش ($\phi_c=0.9$) و برای فشار ($\phi_c=0.85$) در نظر گرفته شده، M_{ux} و M_{uy} مقاومت خمشی لازم در دو جهت x و y و به همان صورت M_{nx} و M_{ny} مقاومت خمشی اسمی در دو جهت x و y میباشد. ϕ_b ضریب کاهش مقاومت خمشی می باشد ($\phi_b=0.9$)

اگر گروه اول قیدها ارضا نشوند طرح مورد نظر بازگشت داده می شود. در غیر این صورت یک آنالیز غیرخطی پوش اور روی سازه اعمال می شود تا حداکثر دریفت میان طبقه طرح، در هر سطح عملکرد مشخص شود. در این مرحله وزن لرزه ای سازه از ترکیب زیر به دست می آید:

$$Q_g^P = 1.1(Q_D + Q_L) \quad (15)$$

توزیع نیروی جانبی در ارتفاع ساختمان بر حسب برش پایه، ارتفاع و وزن طبقات عبارت است از:

$$F_i = \frac{W_i h_i^k}{\sum_{j=1}^n W_j h_j^k} V \quad (16)$$

که در آن F_i نیروی جانبی وارد بر طبقه i -ام، W_i وزن طبقه i -ام، h_i ارتفاع طبقه i -ام از تراز پایه است و مقدار k برابر است با:

$$k = 0.5T + 0.75 \quad (17)$$

برای زمان تناوب اصلی کوچکتر از 0.5 مقدار k برابر 1 و برای زمان تناوب اصلی بزرگتر از 2.5 ثانیه مقدار k برابر 2 انتخاب می شود.

قید مربوط به دریفت جانبی در سطوح مختلف عملکرد می تواند به شکل زیر بیان شود:

$$g_i^l(X) = \frac{\theta_i^l}{\theta_{all}^l} - 1 \leq 0, \quad l = IO, LS, CP, \quad i = 1, 2, \dots, ns \quad (18)$$

که در آن θ_i^l دریفت طبقات و θ_{all}^l دریفت مجاز طبقات مربوط به سطح عملکرد l است. ns نیز تعداد طبقات سازه است.

برای اعمال آنالیز پوش اور لازم است مقدار تغییر مکان هدف مطابق رابطه (1) تعیین شود. برای رسیدن به این مقدار S_a برای هر سطح عملکرد محاسبه می شود. در این حالت سه طیف شتاب طراحی که بیانگر احتمال تجاوز از آن در 50 سال به ترتیب 20٪، 10٪ و 2٪ است در نظر گرفته می شود برای بدست آوردن S_a^i از روابط زیر استفاده می کنیم که در آن i بیانگر هر یک از سه سطح عملکردی است که در پیش تعریف شدند:

$$S_a^i = \begin{cases} F_a S_s^i (0.4 + 3T/T_0) & \text{if } 0 < T \leq 0.2T_0^i \\ F_a S_s^i & \text{if } 0.2T_0^i < T \leq T_0^i \\ F_v S_1^i / T & \text{if } T > T_0^i \end{cases} \quad (19)$$

که در آن T_0 از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$T_0^i = \frac{F_v S_1^i}{F_a S_s^i} \quad (20)$$

و S_1 ، S_s ، F_v و F_a مطابق با جدول موجود در FEMA-273 به دست می آیند که جدول مورد نظر برای خاک نوع D در زیر آورده شده است:

جدول 1: مقادیر پارامترهای لرزه‌ای مربوط به خاک نوع D

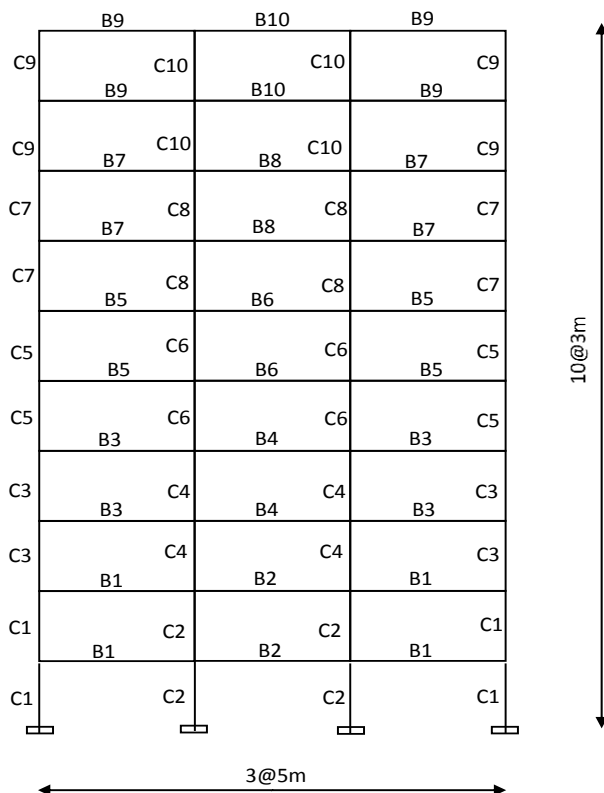
Performance level	Hazard level	$S_s(g)$	$S_1(g)$	F_a	F_v
IO	20% / 50-years	0.658	0.198	1.27	2.00
LS	10% / 50-years	0.794	0.237	1.18	1.92
CP	2% / 50-years	1.150	0.346	1.04	1.70

مطابق دستورالعمل FEMA لازم است سازه به اندازه 1.5 برابر مقدار δ در سطح عملکرد CP تغییر مکان داده شود. مقادیر مجاز در یافت طبقات در سطوح عملکرد IO، CP، و LS مطابق HAZUS برای قاب های میان مرتبه به ترتیب 1.2%، 3% و 8% و برای قاب های بلند مرتبه از ضرب همین مقادیر در ضریب $2/3$ به دست می آید.

5. نتایج عددی

در این قسمت یک قاب فولادی 10 طبقه را مورد مطالعه قرار داده که هندسه و گروه بندی آن در **Error! Reference source not found.** بار مرده برابر با $Q_D = 2500 \text{ kg/m}$ و بار زنده برابر با $Q_L = 1000 \text{ kg/m}$ به تیرهای قاب اعمال شده است. تمامی مقاطع اعضا از بین 267 مقطع W^1 که در پایگاه داده AISC موجود است انتخاب شده اند. این قاب با استفاده از دو الگوریتم PSO و BAT بر مبنای عملکرد بهینه شده و نتایج آنها مورد مطالعه قرار گرفته است.

¹ W-Section



شکل 1: مهندسه و گروه بندی اعضای قاب 10 طبقه

کلیه آنالیزها در OPENSEES انجام شده و برای مدل کردن مقاطع W-Section از مقاطع Fiber و از المان کلیه nonlinear Beam-Column استفاده شده است. همچنین برای مدل کردن فولاد از Steel01 استفاده شده است. مدول الاستیسیته فولاد برابر با 210 GPa و تنش تسلیم برابر 240 MPa و شیب منحنی تنش- کرنش فولاد در ناحیه سخت شدگی مجدد برابر 3% فرض می شود.

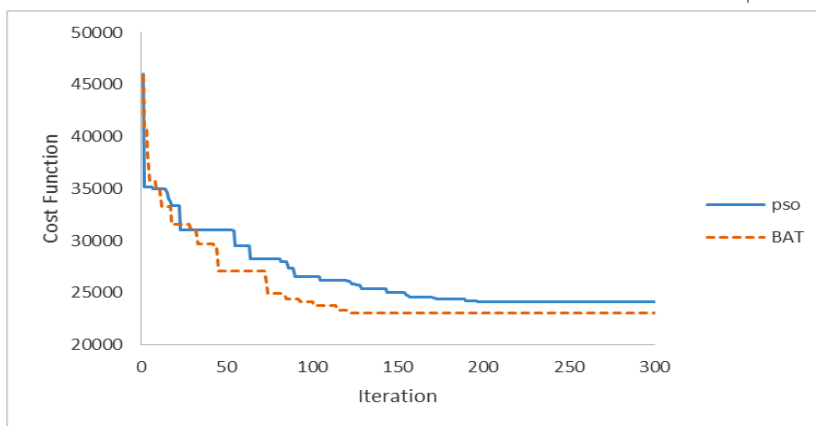
نتایج حاصل از بهینه سازی مبتنی بر عملکرد این قاب با استفاده از دو الگوریتم PSO و BAT در نشان داده شده است. تعداد ذرات در این الگوریتمها 40 عدد و ماکزیمم تعداد تکرار 300 است.

جدول 2: نتایج حاصل از بهینه سازی قاب مبتنی بر عملکرد قاب 10 طبقه

Design variables	Optimum designs
------------------	-----------------

	PSO	BAT
C1	W30X99	W18X55
C2	W18X55	W21X111
C3	W24X62	W27X129
C4	W18X50	W16X50
C5	W30X90	W21X48
C6	W16X40	W21X55
C7	W24X55	W21X48
C8	W21X48	W21X48
C9	W18X50	W21X55
C10	W24X62	W21X50
B1	W24X76	W24X68
B2	W21X132	W18X40
B3	W18X71	W21X48
B4	W12X190	W24X84
B5	W18X97	W21X68
B6	W21X122	W18X40
B7	W18X143	W14X22
B8	W21X44	W21X48
B9	W27X94	W21X44
B10	W14X132	W24X55
Weight(kg)	24109.075	23040.46

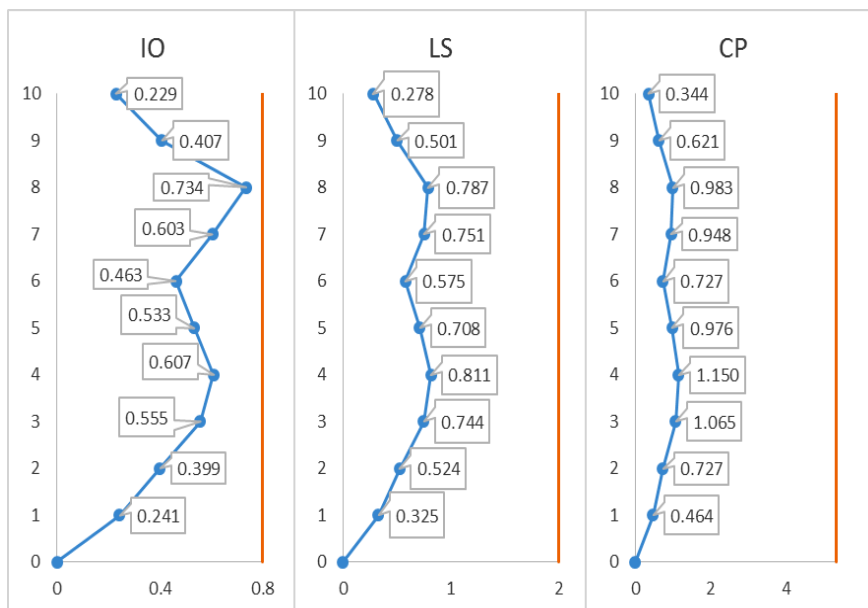
همچنین نمودار تاریخچه همگرایی دو الگوریتم PSO و BAT در شکل 2 مشخص است. همانطور که می بینیم الگوریتم BAT توانسته در تکرار کمتر به جواب بهینه تری دست یابد.



شکل 2: نمودار تاریخچه همگرایی دو الگوریتم PSO و BAT

پروفیل دریفیت برای قاب بهینه شده بر مبنای عملکرد با استفاده از الگوریتم خفاش در

شکل 3 نشان داده شده است:



شکل 3: پروفیل دررفت برای قاب 10 طبقه در سه سطح عملکرد IO، LS و CP

در

شکل 3 خط عمودی نشان دهنده حد مجاز دررفت در سطح عملکرد مورد نظر است. همانطور که از این نمودارها مشخص است قید فعال در این مسئله دررفت مربوط به سطح عملکرد IO می باشد.

6. نتیجه گیری

در این تحقیق عملکرد الگوریتم جدید BAT را در مقایسه با الگوریتم شناخته شده PSO مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور یک قاب ده طبقه فولادی با استفاده از این دو الگوریتم بر مبنای عملکرد بهینه شده است. در بهینه سازی مبتنی بر عملکرد دو نوع قید مورد بررسی قرار گرفته که دسته اول قیود مربوط به بار ثقلی است که برای قاب فولادی مورد نظر طبق معیارهای LRFD-AISC مورد بررسی قرار گرفت و دسته دوم قیود مربوط به دررفت طبقات در سطوح عملکرد مورد نظر است که طبق دستورات FEMA-356 بررسی شد. نتایج حاکی از آن است که الگوریتم خفاش قادر است در زمان کوتاهتر و با تعداد تکرار کمتر به

نتیجه بهینه‌تری دست یابد. در مثال مورد بررسی الگوریتم خفاش وزن سازه را $4/4\%$ نسبت به وزن بهینه حاصل از الگوریتم PSO کاهش داده است. این نتیجه می‌تواند شاهدهی بر کارایی مطلوب الگوریتم خفاش در بهینه‌سازی سازه‌های حجیم با قيود پیچیده باشد.

مراجع:

1. Gandomi, A., et al., *Bat algorithm for constrained optimization tasks*. Neural Computing and Applications, 2013. **22**(6): p. 1239-1255.
2. Yang, X.-S., *A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm*, in *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NICSO 2010)*, J. González, et al., Editors.
3. Alimoradi, A., S. Pezeshk, and C. Foley, *Probabilistic Performance-Based Optimal Design of Steel Moment-Resisting Frames. II: Applications*. Journal of Structural Engineering, 2007. **133**(6): p. 767-776.
4. Kaveh, A., et al., *Performance-based seismic design of steel frames using ant colony optimization*. Journal of Constructional Steel Research, 2010. **66**(4): p. 566-574.
5. Li, L.J., Huang, Z.B., Liu, F.Wu, Q.H., *A heuristic particle swarm optimizer for optimization of pin connected structures*. Computers & Structures, 2007/4//. **85**(7-8): p. 340-349.
6. Gholizadeh, S., R. Kamyab, and H. Dadashi, *Performance-based design optimization of steel moment frames*. International journal OF optimization in civil engineering, 2013. **3**: p. 327-343.