بهینه‌سازی سایز چلیکها و گنبدهای دولایه در برابر زلزله با استفاده از الگوریتمهای اجتماع ذرات و خفاش

سعید قلی‌زاده

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه ارومیه، ایران
s.gholizadeh@urmia.ac.ir

چکیده

هدف اساسی تحقیق حاضر بهینه‌سازی چلیکها و گنبدهای دولایه در برابر زلزله با استفاده از الگوریتمهای اجتماع ذرات و خفاش میباشد. تابع هدف وزن سازه و متغیرهای طراحی سطح مقطع اعضا سازه می‌باشند. همچنین قیود طراحی شامل محدودیتهای تنش و تغییرمکان بیشینه گره‌ها ست. در این تحقیق، از روش تحلیل دینامیکی لحظه به لحظه برای محاسبه پاسخهای سازه در برابر زلزله استفاده شده است. جهت انجام فرآیند بهینه‌سازی از الگوریتم شناخته شده اجتماع ذرات و الگوریتم جدید خفاش که کارایی مناسب خود را در حل برخی مسائل شناخته شده بهینه‌سازی نشان داده استفاده شده است. نتایج بدست آمده در این تحقیق نشان دهنده عملکرد محاسباتی مناسب الگوریتم خفاش در برابر الگوریتم شناخته شده اجتماع ذرات میباشد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، زلزله، چلیک، گنبد، الگوریتم اجتماع ذرات، الگوریتم خفاش

1. مقدمه

امروزه پوشش فضاهای بزرگ بدون حضور ستون های میانی یکی از مهمترین چالشهای مهندسین و طراحان سازه بشمار می‌آید و سازه‌های فضاکار از بهترین گزینه ها برای پاسخ گویی به این نیاز بشر امروزیست. در مقایسه با سازه های تخت فرم قوسی چلیک ها و گنبدها مزیت این سازه ها را دو چندان کرده است، و این سازه ها را به اقتصادی ترین گزینه برای پوشش دهانه های بزرگ تبدیل کرده است. یک چلیک از تبدیل یک شبکهٔ تک لایه، دولایه یا چندلایه به فرم قوسی در یک جهت ایجاد میگردد و حاصل آن تشکیل تاشهٔ چلیکی یک، دو یا چندلایه خواهد بود. مقطع عمومی یک سازهٔ چلیکی ممکن است بخشی از دایره، بیضی یا سهمی باشد. این سازه ها بیشتر برای پوشش سطوح مستطیلی دالان مانند استفاده شده و بعضا فاقد ستون می باشند. و روی لبه های چلیک که به تکیه گاه متصل است، قرار می گیرند. گنبد مشبک، یک سیستم سازهٔ فضاکار است که شامل یک یا چند لایه (از اجزا) می باشد که در تمامی جهات به فرم قوسی در آمده اند. برخی از گنبدها دارای رویه ای ظاهری

Archive of SID
www.SID.ir

هستند که بخشی از یک سطح منفرد و واحد همانند کره را تشکیل می دهد و برخی دیگر متشکل از مجموعه ای از سطوح گنبدی شکل متفاوت می باشند.

در دهه گذشته الگوریتم های متفاوتی برای بهینه سازی سازه‌ها استفاده شده است. انواع بهینه‌سازی سازه‌ها در سه دسته اصلی طبقه‌بندی می‌شوند: الف) بهینه سازی سایز (که در آن سطح مقطع اعضا به عنوان متغیر های طراحی شناخته می شوند)، ب) بهینه سازی شکل(که در آن سطح مقطع اعضا و مختصات گره ها به عنوان متغیرهای طراحی شناخته می شوند). ج) بهینه سازی توپولوژی (که در آن پارامترهای مربوط به توپولوژی، متغیرهای طراحی می‌باشند). طرح بهینه سازه ها معمولا از انتخاب متغیرهای طراحی به گونه‌ای به دست می‌آیند که در حالی که تابع هدف مینیمم می‌شود قیود معینی نیز ارضا شوند. در سال های اخیر الگوریتم‌های فراکاوشی پیشرفته زیادی برای بهینه‌سازی سازه‌ها به صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته اند. که از آن جمله می‌توان به الگوریتم ژنتیک (GA)، الگوریتم اجتماع ذرات (PSO)، الگوریتم جستجوی هارمونی (HS) و الگوریتم کولونی مورچه ها (ACO) اشاره نمود. الگوریتم خفاش (BA) الگوریتم فراکاوشی جدیدی است که در سال 2010 معرفی شده است و بر مبنای رفتار مکان یابی صوتی میکروخفاش ها قرار دارد. در این تحقیق به بهینه سازی لرزه‌ای سایز چلیک و گنبدهای فضاکار با استفاده از الگوریتم شناخته شده PSO و الگوریتم جدید BA پرداخته خواهد شد. با توجه به رابطه‌ی مستقیم وزن سازه با هزینه تمام شده، کاهش وزن سازه منجر به کاهش هزینه های تمام شده سازه نیز می گردد.

2. الگوریتم اجتماع ذرات (PSO)

این الگوریتم با الهام از رفتار اجتماعی حیواناتی چون ماهی ها و پرندگان که در گروه هایی کوچک و بزرگ کنار هم زندگی می کنند، طراحی شده است. جهت پیاده سازی این الگوریتم می بایستی ابتداً یک مقدار برای اندازه ی ازدحام، N در نظر گرفته شود. اولین جمعیت X را در محدوده بین $X^{(l)}$ و $X^{(u)}$ به صورت اتفاقی بعنوان X_1، X_2، ... و X_N انتخاب میشود. و ارزیابی از مقادیر تابع هدف متناظر با ذرات صورت می گیرد. گام بعدی تعیین سرعت ذرات می باشد. در ابتدا، سرعت تمام ذرات صفر فرض خواهد شد و شماره تکرار با $i=1$ آغاز می شود. رابطه ی (1) بیانگر سرعت ذرات در تکرار i می باشد.

$$V_j(i) = \theta V_j(i-1) + c_1 r_1[P_{best,j} - X_j(i-1)] + c_2 r_2[G_{best} - X_j(i-1)] \qquad (1)$$

که در آن θ اینرسی سرعت بوده و مقدار آن از 0/9 تا 0/4 بصورت خطی تغییر می کند. c_1 نرخ شناخت فردی و c_2 ضریب آموزش اجتماعی است. r_1 و r_2 اعداد دلخواه در بازه ی صفر تا یک می باشد. $P_{best,j}$ بهترین مقدار تابع هدف برای ذره ی i ام و G_{best} بهترین مقدار تابع هدف برای تمام ذرات در تکرارهای گذشته است.
با افزودن بردار سرعت به مختصات یا موقعیت ذره ی j در تکرار i-1 مختصات جدید آن ذره بدست می آید.

Archive of SID

www.SID.ir

$$X_j(i) = X_j(i-1) + V_j(i) \qquad ; j = 1,2,3,\ldots,N \tag{2}$$

و این روند تا همگرایی مسئله ادامه می یابد[1].

3. الگوریتم خفاش (BA)

در این الگوریتم، ویژگی های مکان یابی صوتی میکروخفاش ها که ایده آل سازی شده اند به شرح زیر است [2]:

1.همه خفاش ها از ویژگی مکان یابی صوتی خود برای اندازه گیری فاصله استفاده میکنند.آنها همچنین تفاوت بین غذا و موانع را تشخیص میدهند.

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 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 وباید 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:

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})\beta \tag{3}$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + \left(x_i^{t-1} - x^*\right) f_i \tag{4}$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \tag{5}$$

در حالی که β عدد تصادفی 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 محلی، هنگامی که حلی از بین کلیه حل های موجود انتخاب شد، یک جستجوی محلی در اطراف آن مطابق فرمول زیر صورت می گیرد:

$$x_{new} = x_{old} + \varepsilon A^t \tag{6}$$

که در اینجا عدد تصادفی ε از بازه [-1,1] انتخاب می شود. همچنین A^t میانگین بلندی صدای همه خفاش ها در هر گام زمانی است.

وقتی که خفاش شکار خود را پیدا کرد، بلندی معمولا کاهش و نرخ امواج ارسالی افزایش می یابد. برای سادگی معمولا $A^0 = 1$ و $A_{min} = 0$ در نظر میگیرند. $A_{min} = 0$ بیانگر این حالت است که خفاش همین حالا شکار خود را یافته است. کاهش بلندی و افزایش نرخ انتشار امواج تا رسیدن به نرخ ثابت r_i^0 با استفاده از روابط زیر صورت میگیرد:

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \tag{7}$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$r_i^{t+1} = r_i^0[1 - exp(-\gamma t)] \quad (8)$$

4. فرمولبندی مسئله بهینه‌سازی

چلیکها و گنبدهای دولایه‌ی فضاکار دارای اعضای با رفتار خرپایی می‌باشند و لذا تنش اعضا منحصر به تنش های نرمال می‌باشند که باید درکشش و فشار به مقادیر خاصی طبق آیین‌نامه های طراحی محدود شوند. در این تحقیق محدودیت تنش برای اعضای کششی برابر $0.6F_y$ در نظر گرفته شده و برای محاسبه تنش حد کمانش اعضای فشاری از آیین نامه AISC-ASD [3] استفاده خواهد شد:

الف) در اعضای تحت اثر فشار محوری، اگر لاغری حداکثر هر قسمت آزاد آن کمتر از مقدار C_c باشد تنش مجاز با استفاده از رابطه زیر تعیین می شود.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (9)$$

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2}\right]F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8}\frac{KL/r}{C_c} - \frac{1}{8}(\frac{KL/r}{C_c})^3} \quad (10)$$

ب) اگر لاغری حداکثر بزرگتر از C_c باشد، تنش فشاری مجاز بر مقطع کلی عضو تحت اثر فشار محوری از رابطه زیر تعیین می شود.

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(\frac{KL}{r})^2} \quad (11)$$

در روابط فوق، E و F_y بترتیب مدول الاستیسیته و تنش تسلیم مصالح میباشند. همچنین F_a، K، L و r بترتیب تنش مجاز فشاری، ضریب طول موثر، طول و شعاع ژیراسیون اعضا می‌باشند.

همچنین خیز مجاز سازه‌ها در این تحقیق برابر 1/360 طول دهانه محدود می‌باشد[4].

در این تحقیق منظور از بهینه‌سازی سازه‌های فضاکار، محاسبه مقدار حداقل تابع وزن سازه همزمان با ارضاء قیود طراحی می باشد. فرمولبندی مسأله بهینه‌سازی را در مجموع میتوان به صورت زیر نوشت :

Archive of SID

www.SID.ir

$$\text{Minimize } w=\sum_{i=1}^{m}\rho L_i X_i$$

Subject to (12)

$$\frac{\sigma_i}{F_{a,i}}-1\le 0$$

$$\frac{\delta}{\delta_{\text{all}}}-1\le 0$$

در روابط فوق، w، ρ و X_i بترتیب وزن سازه، وزن واحد حجم و متغیر طراحی iام میباشند. همچنین σ_i تنش در عضو iام و δ و δ_{all} بترتیب برابر خیز و خیز مجاز می‌باشند.

از آنجایی که مقاطع اعضا از جدول پروفیلهای فولادی استاندارد انتخاب شده و این مقاطع جزو مقاطع فشرده محسوب می‌شوند، لذا کنترل کمانش موضعی آنها لازم نیست. بنابراین قیود حاکم مشتمل بر سه نوع قید می‌شوند که عبارتند از قید تنش مثبت، قید تنش منفی(کمانش کلی) و قید تغییر مکان.

در این تحقیق با استفاده از روش تابع جریمه خارجی مجموعه تابع هدف و قیود حاکم بر آن را به تابع آزاد معادل یا تابع شبه هدف تبدیل می‌نماییم. این روش تابع هدف و قیود حاکم بر آن را به صورتی که در رابـــطه (13) نشان داده شده است، به تابع آزاد معادل تبدیل می‌کند.

(13)

$$\Phi=w+r_p.\sum_{j=1}^{nc}\left[max\left(\frac{g_j}{\bar{g}_j}-1,0\right)\right]^2$$

در رابطه فوق Φ تابع الحاقی یا تابع آزاد معادل، w تابع هدف اولیه و g_j و $\bar{g}_j$ قید jام و مقدار مجاز آن می‌باشند. r_p ضریب عددی جریمه است.

5. بارگذاری

بارگذاری سازه ها بر اساس آیین نامه ی سازه های فضاکار (نشریه شماره ی 400) صورت گرفته است. در این تحقیق، برای بارهای مرده نظیر وزن سازه ی فضاکارشامل اعضا و اجزای سیستم باربر، سقف ها، پوشانه ها و تمامی تجهیزات و وسایلی که در نقطه ی ثابتی در نظر گرفته می شوند، مقدار $100kg/m^2$ در نظر گرفته شده است. با توجه به مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، بار زنده ای برای بام های شیب دار با پوشش سبک با شیب بیشتر از 10 درجه در نظر گرفته نشده است، لذا بار زنده ای برای سازه های نمونه در نظر گرفته نشده است. ولی با توجه به اهمیت بار برف در مناطق سردسیر و همچنین نسبت بالای آن در مقایسه با بار مرده ی سازه های فضاکار در ترکیبات بارگذاری به جای بار زنده از بار برف استفاده شده است[4].

Archive of SID

www.SID.ir

فرم آیرودینامیک چلیک ها و گنبدهای فضاکار باعث کاهش تاثیر بار باد در این نوع از سازه ها گردیده، بطوری که در رویه های گنبدی بار باد در سطح وسیعی از رویه بصورت مکشی می باشد. و لذا نیروی زلزله اثر بحرانی تری را در این سازه ها ایجاد می کند.

وزن سبک سازه های فضاکار منجر به ارزیابی غیر واقعی نیروی زلزله در آنالیز استاتیکی می گردد، لذا برای ارزیابی لرزه ای این سازه ها استفاده از روش های دینامیکی اجتناب ناپذیر خواهد بود. همچنین با توجه به اینکه بار برف در مناطق سردسیر بیشتر از بار مرده ی سازه های فضاکار می باشد، لذا برای طراحی ایمن سازه ها می بایستی درصدی از بار برف در طراحی لرزه ای سازه لحاظ گردد یا تدابیری جهت ذوب کردن برف پوشانه ها اتخاذ گردد. در این تحقیق، مبنای انتخاب شتاب نگاشتها بر اساس نسبت شتاب حداکثر زمین بر سرعت حداکثر زمین که نسبت a/v نامیده می شود، می باشد. این نسبت خصوصیات بسیار مهمی از منبع لرزه، مسیر حرکت امواج، شرایط موقعیت قرارگیری سازه و مولفه های پاسخ سازه ای در بر می گیرد. مقادیر نسبت a/v بالا، برای سازه های سخت تر که پریود کوتاهی دارند، بحرانی تر است . در حالی که سازه های شکل پذیر با پریود اصلی بلند، در زلزله های با نسبت a/v کمتر دچار لرزش بیشتری می شوند. بازه ی تقسیم بندی نسبت a/v بصورت تقریبی در زیر ارائه شده:

$$\begin{aligned} &1.2 < a/v && \text{(high)} \\ &0.8 < a/v < 1.2 && \text{(normal)} \\ &a/v < 0.8 && \text{(low)} \end{aligned} \qquad (14)$$

در این مقاله، سعی شده است که شتاب نگاشت های انتخابی بازه ی وسیعی ازنسبت a/v را تحت پوشش قرار دهند. لذا مطابق جدول (1) برای نسبت a/v بالا زلزله ی طبس، برای نسبت a/v نرمال زلزله ی کوبه و برای نسبت a/v پایین زلزله ی نورث ریج انتخاب شده اند.

جدول (1): مشخصات شتاب نگاشت های انتخابی

نام زلزله	PGA(g)	PGV(m/s)	*a/v*
طبس	0.406	0.265	1.53
کوبه	0.821	0.813	1.01
نورث ریج	0.593	0.993	0.6

در مقالات ضرایب رفتار بسیار متفاوتی برای چلیک ها وگنبدهای فضاکار در نظر گرفته شده که در بازه ی 1تا6 متغییر می باشند. در این مقاله ضریب رفتار چلیک دو لایه با توجه به مرجع [5] برای نسبت ارتفاع به دهانه 0/3 در جهت افقی برابر 3 و در جهت قائم برابر 3/3 در نظر گرفته شده است. این مقدار برای گنبدهای فضاکار

Archive of SID

www.SID.ir

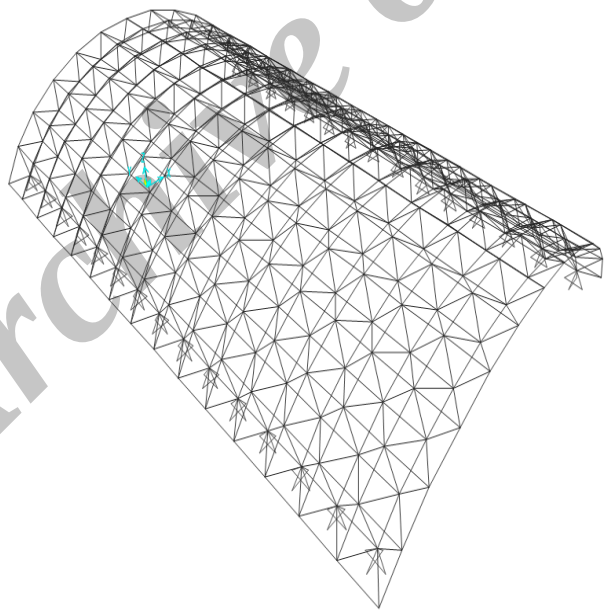
دولایه با نسبت ارتفاع به دهانه 0/28 در جهت افقی برابر 2/92 و در جهت قائم برابر 2/25 در نظر گرفته شده است. از این مقادیر جهت به مقیاس در آوردن شتاب نگاشت ها استفاده شده است.

6. مثالهای عددی

در این تحقیق، تنش تسلیم و مدول الاستیسیته بترتیب برابر 2400 و 2100000 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، ضریب پواسون 0.3و چگالی $7850kg/m^3$ در نظر گرفته شدند. یک چلیک 1440 عضوی و یک گنبد 1380 عضوی طراحی بهینه شدند که مشخصات آنها در جدول (2) و هندسه آنها در اشکال (1) و (2) نشان داده شده اند.

جدول(2): مشخصات سازه های چلیک

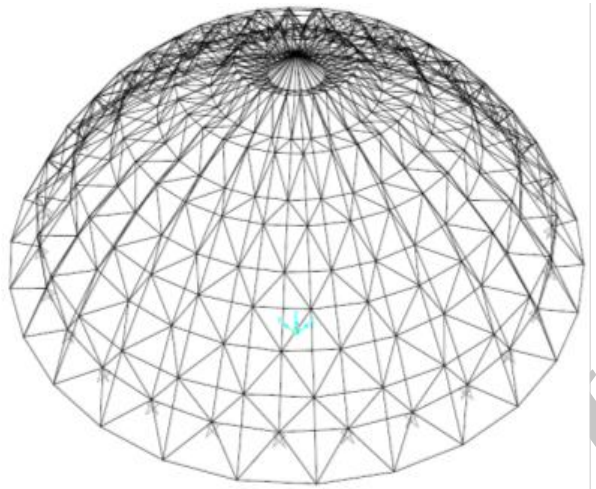
چلیک	طول دهانه (m)	ارتفاع سازه (m)	ضخامت (m)	تعداد المان ها	تعداد گره ها	تعداد گروه
مثال 1	40	12	1.5	1440	388	13
مثال 2	60	17	2.0	1380	361	4



شکل(1): چلیک 1440 عضوی

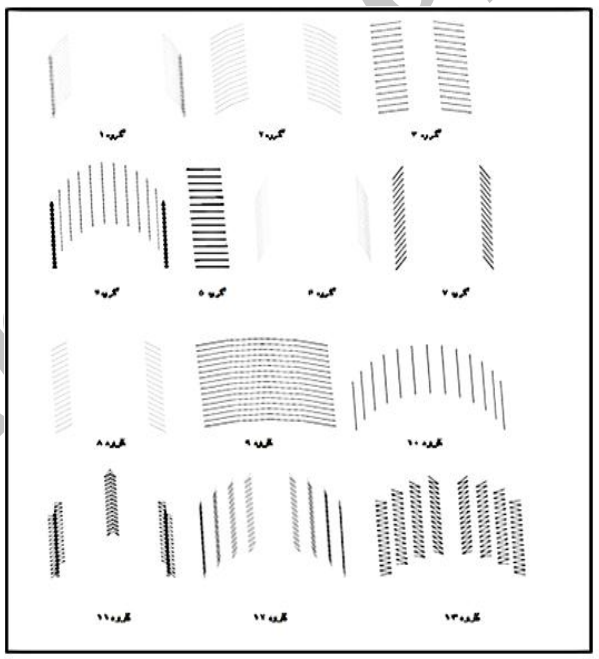
Archive of SID

www.SID.ir



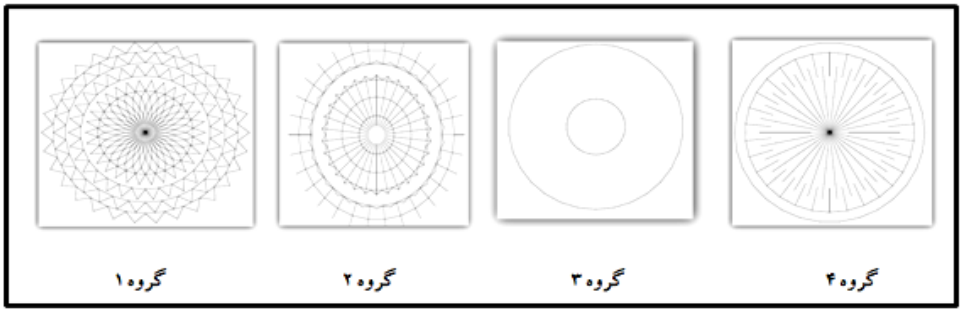
شکل(2): گنبد 1380 عضوی

جهت گروه بندی، اعضا با نیروهای محوری نزدیک به هم در یک گروه جای گرفته اند. گروهبندی اعضا برای چلیک و گنبد در اشکال (3) و (4) نشان داده شده است.



شکل (3): گروهبندی چلیک 1440 عضوی

www.SID.ir



شکل (4) گروهبندی گنبد 1380عضوی

نتایج بهینه‌سازی چلیک 1440 عضوی با استفاده از الگوریتمهای PSO و BA در جدول 3 ارایه شده است. در این مثال تعداد ذرات برابر 30 و تعداد تکرارها برابر 150 در نظر گرفته شده است. نحوه ی نامگذاری مقاطع به این صورت بوده که عدد اول بعد از عبارت P نشانگر قطر خارجی لوله و عدد دوم ضخامت لوله را بر حسب mm نشان می دهد.

جدول(3): نتایج بهینه سازی چلیک 1440 عضوی

Design Variable No.	PSO	BA
1	P101.6-6.3	P101.6-5
2	P101.6-4	P101.6-4
3	P76.1-5	P76.1-5
4	P42.4-2.6	P33.7-4
5	P48.3-4	P48.3-4
6	P76.1-3.2	P60.3-5
7	P88.9-3.2	P88.9-3.2
8	P88.9-4	P88.9-5
9	P88.9-6.3	P88.9-5
10	P42.4-3.2	P42.4-3.2
11	P48.3-4	P60.3-3.2
12	P60.3-3.2	P60.3-4
13	P48.3-3.2	P48.3-3.2
وزن (kg)	37625	36416
تعداد تکرار	100	86
ماکزیمم نسبت تنش	0.975	0.992
نسبت خیز به خیز مجاز	0.280	0.288

Archive of SID

www.SID.ir

همانطور که ملاحظه میشود الگوریتم BA نسبت به PSO دارای عملکرد محاسباتی بهتری میباشد. مقادیر ماکزیمم نسبت تنش و نسبت خیز به خیز مجاز که در جدول 4 ارائه شده اند بیانگر این نکته هستند که ماکزیمم نسبت تنش قید فعال بهینه‌سازی می‌باشد.

نتایج بهینه‌سازی گنبد 1380 عضوی با استفاده از الگوریتمهای PSO و BA در جدول 4 ارایه شده است.

جدول(4): نتایج بهینه سازی و طراحی مهندسی گنبد 1380 عضوی

Design Variable No.	PSO	BA
1	P114.3-4	P101.6-4
2	P139.7-6.3	P114.3-8
3	P114.3-5	P139.7-4
4	P139.7-6.3	P139.7-6.3
وزن (kg)	86168	82844
تعداد تکرار	100	82
ماکزیمم نسبت تنش	0.96	0.99
نسبت خیز به خیز مجاز	0.119	0.125

نتایج عددی بیانگر عملکرد محاسباتی بهتر الگوریتم BA نسبت به PSO از منظر وزن و حجم محاسبات می‌باشد. همچنین ملاحظه شد که ماکزیمم نسبت تنش قید فعال بهینه‌سازی می‌باشد.

7. خلاصه و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، طرح بهینه یک چلیک و یک گنبد دو لایه در برابر زلزله با استفاده از الگوریتمهای PSO و BA انجام گرفت و نتایج مقایسه گردید. نتایج بهینه‌سازی بدست‌آمده نشان دادند که الگوریتم BA نسبت به الگوریتم PSO با نیاز به تعداد آنالیزهای دینامیکی کمتر به سازه سبکتری همگرا میشود. در چلیک دولایه نسبت کاهش وزن سازه بهینه و تعداد تحلیلهای دینامیکی لحظه به لحظه بدست آمده با الگوریتم BA نسبت به PSO بترتیب برابر 3.21% و 14% میباشند همچنین این مقادیر در گنبد دولایه بترتیب برابر 3.86% و 18% میباشند. نتایج همچنین بیانگر این نکته بودند که در هر دو مثال، ماکزیمم نسبت تنش قید فعال بهینه‌سازی می‌باشد. لذا میتوان نتیجه گرفت که الگوریتم BA میتواند بطور موثر برای بهینه‌سازی سازه‌های دو لایه فضاکار مورد استفاده قرار گیرد.

8. مراجع

[1] RAO S. Engineering Optimization Theory & Practice, forth edition, JOHN WILEY & SONS INC, Hoboken, New Jersey, Chapter 13, pp 708-714, 2009.

Archive of SID
www.SID.ir

[2] Gandomi A,Yang X,Alavi A, Talatahari S, Bat algorithm for constrained optimization tasks, *Neural Computing & Applications*, **10.1007,** 2012.

[3] ASD-AISC (Allowable Stress Design), Manual of Steel Construction. (9th edn). AISC, American Institutes of Steel Construction, Inc.: Chicago, Illinois, USA, 1989.

[4] نشریه شماره‌ی 400، آیین نامه‌ی سازه‌های فضاکار، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور – دفتر نظام فنی اجرایی، 1389 .

[5] جعفروند، ع ، کاوه، ع، نبوی رضوی، ح ، بررسی نسبت ارتفاع به دهانه در ضریب رفتار سازه های فضاکار انحنا دار دولایه، دومین کنفرانس ملی سازه های فضاکار. 1390.

Archive of SID

www.SID.ir