

نشریه علمی مهندسی عمران و فناوری های نوین

سال اول، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲: صص ۳۰-۲۳

علمی

طراحی بهینه قاب‌های فولادی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)

صفا پیمان^۱، امیرمحمد حسن زاده^{۲*}، سید رامتین رضائی^۳، رضا حسن زاده^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

چکیده

هدف از این مطالعه طراحی بهینه قاب‌های فولادی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) است. الگوریتم ازدحام ذرات یک الگوریتم تکاملی و مبتنی بر جستجوی هوشمندانه است. در این پژوهش بهینه‌سازی طراحی سازه‌ای با هدف بهینه‌سازی بکارگیری مصالح در اسکلت سازه مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور طراحی بهینه قاب خمشی فولادی ۹ طبقه براساس عملکرد برای بارهای ثقلی و جانبی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات بیان شده است. قیود مسئله بهینه‌سازی کنترل چرخش مفاصل پلاستیک و تغییر مکان نسبی طبقات برای سطوح عملکرد LS، IO و CP براساس ضوابط آیین نامه FEMA-۳۵۶ می‌باشد. بعد از ۱۵ بار اجرای کد الگوریتم در نرم افزار Matlab نتایج نشان داد که وزن سازه در سطح عملکرد C-P به وزن $e4377/2kg$ نسبت به سطوح عملکردی L-S و I-O به ترتیب با وزن‌های $e4567/3$ و $e4277/4$ کمتر بوده است.

کلید واژه‌ها: بهینه‌سازی، الگوریتم ازدحام ذرات، قاب فولادی، Matlab

^۱ استادیار، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران - نویسنده مسئول (speyman@ihu.ac.ir)

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

^۴ کارشناسی ارشد، دانشگاه آیت الله بروجردی (ع)، بروجرد، ایران

۱- مقدمه

منظور از بهینه‌سازی در عمران، یافتن طرحی برای سازه است که ضمن رعایت ضوابطی فنی، کم‌ترین وزن و متعاقبا کم‌ترین هزینه اجرایی و اقتصادی را داشته باشد. به عبارت دیگر، بهینه‌سازی هنر یافتن بهترین جواب در بین وضعیت‌های موجود است. بهینه‌سازی در طراحی و نگهداری بسیاری از سیستم‌های مهندسی، اقتصادی و حتی اجتماعی به منظور کمینه کردن هزینه لازم و یا بیشینه کردن سود کاربر است. بهینه‌سازی سازه‌ها، هنوز هم مساله نسبتا جدیدی محسوب می‌شود و پیوسته از نظر روش‌ها و رویکردها در معرض تغییرات سریع قرار دارد. روش‌های بهینه‌سازی هوشمند یا روش‌های فرا ابتکاری یا فرا کاوشی که الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) یکی از آنها است، الهام گرفته از طبیعت است که مبتنی بر جستجو هوشمندانه هستند. الگوریتم PSO در سال ۱۹۵۵ توسط جمیز کندی (روانشناس اجتماعی) و راسل ابرهات (مهندس برق) برای حل مسائل بهینه‌سازی که ماهیت پیوسته بر جواب‌های آن‌ها حاکم است مطرح کردند و بسیاری از نویسندگان کار آن‌ها را توسعه داده اند [۱]. در میان الگوریتم‌های مبتنی بر جستجو تصادفی، الگوریتم ازدحام ذرات یکی از موثرترین روش‌های جستجوی تصادفی است. در سالیان اخیر طراحی بهینه سازه‌ها مورد توجه محققین مختلفی قرار گرفته است. در مطالعات انجام شده انواع سازه‌ها اعم از خرپا، قاب‌های فولادی و بتنی، انواع سقف‌ها و ... از الگوریتم‌های مختلفی بهره گرفته شده است. به عنوان نمونه، هایا لیگلو و گرتکین (۲۰۰۵) تحقیقاتی را پیرامون کمینه کردن هزینه طراحی قاب‌های فولادی با اتصالات نیمه صلب با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام دادند. نتایج نشان داد در قاب‌های کوتاه مرتبه با زمان تناوب پایین با کاهش سختی اتصالات، وزن سازه افزایش می‌یابد و همچنین در قاب‌های بلند مرتبه که زمان تناوب بیشتری دارند، با کاهش سختی اتصال و افزایش زمان تناوب سازه، شتاب و نیروی وارده به سازه نیز کاهش یافته که در نتیجه منجر به کاهش وزن سازه می‌گردد [۲]. همچنین یزدی و رملی (۲۰۱۱)، تحقیقاتی در زمینه جانمایی بهینه نقاط اتصال مهاربندهای برون محور (خارج از مرکز) به قاب فولادی و سطح مقطع بهینه اعضای آن‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام دادند. نتایج نشان داد مهاربندی‌های برون محور که به دلیل افزایش امکان استفاده از بازشوها در ساختمان توسط طراحان مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان توسط روش‌های بهینه‌سازی هوشمند (الگوریتم ژنتیک) در خصوص نقطه اتصال بهینه آن‌ها به قاب ساختمان با بالاترین بار جانبی به یک نتیجه قابل قبول و قابل اعتماد دست یافت [۳]. در این راستا کاوه و اهری (۲۰۱۲) بهینه‌سازی قاب با روش الگوریتم ذرات باردار ارائه کردند. آن‌ها از روش ذرات باردار که از

فیزیک الکتروسیسته الهام گرفته شده، استفاده شده و جواب‌هایی در حدود ۱۰ درصد بهتر نسبت به طراحی سنتی قاب‌ها بدست آمده است [۴]. قلی‌زاده و فتاحی (۲۰۱۳) در بهینه‌سازی سازه‌های قاب خمشی فولادی براساس رابطه‌ی تغییر مکان هدف مربوط به بهینه‌سازی در نشریه FEMA356، ترکیب بار ضریب‌دار ثقیلی را به عنوان قید پیش نیاز کنترل کرده‌اند [۵]. عبدلی و صادقیه (۱۳۹۱) در پژوهشی به بهینه‌سازی قاب‌های فولادی مهاربندی شده هم مرکز با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداختند. نتایج نشان داد که پس از مقایسه ۶ عدد قاب مهاربندی شده که در آن‌ها جانمایی مهاربند نیز بهینه شده است، نسبت به یک قاب شش دهانه ۱۰ طبقه که یک دهانه مشخص آن مهاربندی شده، نشان از کاهش قابل توجه نیروی برکنش و نسبت تنش حداکثر در ستون طبقه اول و کاهش وزن فولاد مصرفی و متعاقبا کاهش هزینه اقتصادی در قاب با جانمایی، نسبت به قاب یک دهانه مهاربندی داشت [۶]. در این راستا کاوه و اهری (۲۰۱۰) با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری به طراحی بهینه قاب‌های فولادی پرداختند. هدف از این پژوهش بهینه‌سازی به حداقل رساندن وزن سازه‌های قاب فولادی با اتصال است [۷]. قلی‌زاده و فتاحی (۲۰۱۲) بهینه‌سازی طراحی ساختمان‌های بلند فولادی را با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات مورد مطالعه قرار دادند. نتایج عددی مزایای محاسباتی الگوریتم PSO را نشان داد [۸]. گیل مارت و همکاران (۲۰۰۶) در مورد بهینه‌سازی قاب فولادی براساس معیار پایداری و آنالیز مرتبه اول مطالعاتی را انجام دادند که بر این اساس یک قاب را با تحلیل مرتبه اول طراحی کرده و مقاطع بدست آمده از طراحی را برای قاب‌های در همان رده، پس از کنترل معیار پایداری استفاده کردند [۹]. همچنین جارمای و فارکاس (۲۰۰۶) یک قاب فولادی چند طبقه را که تحت بارگذاری زلزله در هر دو جهت X و Y قرار می‌گرفت را بهینه‌سازی کردند. طراحی این قاب به صورت الاستیک بوده و تابع هدف آن، هزینه ساخت این سازه مد نظر قرار گرفته شد و برای به حداقل رساندن هزینه‌ها راه کارهایی از جمله استفاده از اتصال مفصلی به جای اتصال گیردار برای کم کردن هزینه جوشکاری و غیره را مطرح کردند [۱۰]. قاب‌های ساختمانی رایج‌ترین سازه‌های عمرانی هستند، بنابراین اگر بتوان وزن این قاب‌ها را با حفظ مقاومت و عملکرد آن به نحوی کاهش داد تا در طی وقوع زلزله انرژی کم‌تری جذب کند، آنگاه خسارت‌های وارده کم‌تر شده و همزمان با تامین اقتصاد طرح، ایمنی سازه نیز افزایش می‌یابد. درواقع هدف اصلی برقراری ارتباط بین دو مبحث اساسی علم مهندسی عمران، یعنی طراحی براساس عملکرد و بهینه‌سازی سازه‌ها است، تا ضمن بهبود عملکرد در سازه، بتوان وزن بهینه آن را نیز تعیین نمود. در سال‌های اخیر روش‌های طراحی سازه‌ها در برابر زلزله دستخوش تغییرات زیادی شده است و مفهومی به

$$V(t+1) = \quad (1)$$

$$W \times V(t) + C_1 \times R_1 \times [Pbest_i - X(t)] +$$

$$C_2 \times R_2 \times [Gbest_i - X(t)]$$

$$X(t+1) = X(t) + V(t+1) \quad (2)$$

در این روابط $V(t)$ و $V(t+1)$ به ترتیب سرعت ذره در تکرارهای t و $t+1$ ، R_1 و R_2 اعداد تصادفی بین صفر تا یک، C_1 و C_2 به ترتیب ضرایب تاثیر اثرات فردی و اجتماعی بوده و معمولاً بین صفر تا دو می‌باشند، $Pbest_i$ بهترین موقعیت تجربه شده توسط کل ذرات می‌باشد و $X(t)$ و $X(t+1)$ نیز به ترتیب به موقعیت قبلی و فعلی ذره می‌باشد. W ضریب اینرسی است که توسط رابطه (۳) تعریف می‌گردد [۱].

$$W = (W_{max} - W_{min}) \times \left(\frac{Iter_{max}}{Iter_{min}} \right) + W_{min} \quad (3)$$

W_{min} و W_{max} به ترتیب ضریب اینرسی ماکزیمم و ضریب اینرسی مینیمم هستند که در این تحقیق ۰/۷ و ۰/۲ در نظر گرفته شده است. $Iter$ شماره تکرار و $Iter_{max}$ ماکزیمم تعداد تکرار می‌باشند.

سرعت ذرات به سرعت در رون تکرار الگوریتم افزایش می‌یابد که باعث از دست دادن بیشینه یا کمینه مورد نظر تابع هدف خواهد شد. بنابراین ضریب اندیس ϕ برای کاهش سرعت به معادله برورسانی افزوده می‌گردد. این ضریب که برای اولین بار توسط شی و ابرهات (۱۹۹۹) برای کاهش دادن سرعت در طول زمان (یا در طول تکرارها) ارائه گردید، اجتماع را قادر می‌سازد که در مقایسه با الگوریتم اجتماع ذرات اصلی به جواب دقیق‌تر و با کارایی بهتر همگرا شود. بهتر است به جای استفاده از یک مقدار ثابت برای اندیس از یک تابع متغیر با زمان استفاده شود که در ابتدا مقدار بزرگی آن در نظر گرفته شود و هرچه به پایان مساله نزدیک می‌شویم، این مقدار کوچک‌تر می‌گردد. این نوع انتخاب باعث می‌شود که در ابتدا فضای مساله به خوبی جستجو شود و سپس به جواب بهینه همگرا شود و در حین همگرایی نقاط همسایگی نقطه بهینه جستجو می‌شوند. بنابراین ϕ از مقدار صفر تا ۱ و یا زیر مجموعه ای از آن مثلاً ۰/۴ تا ۰/۹ به صورت خطی مطابق رابطه (۴) در طی روند تکامل ذرات کاهش می‌یابد [۱۱].

$$\phi(t) = \phi_{final} - \left(\frac{\phi_{final}}{\max_t} - \frac{\phi_{initial}}{\max_t} \right) t \quad (4)$$

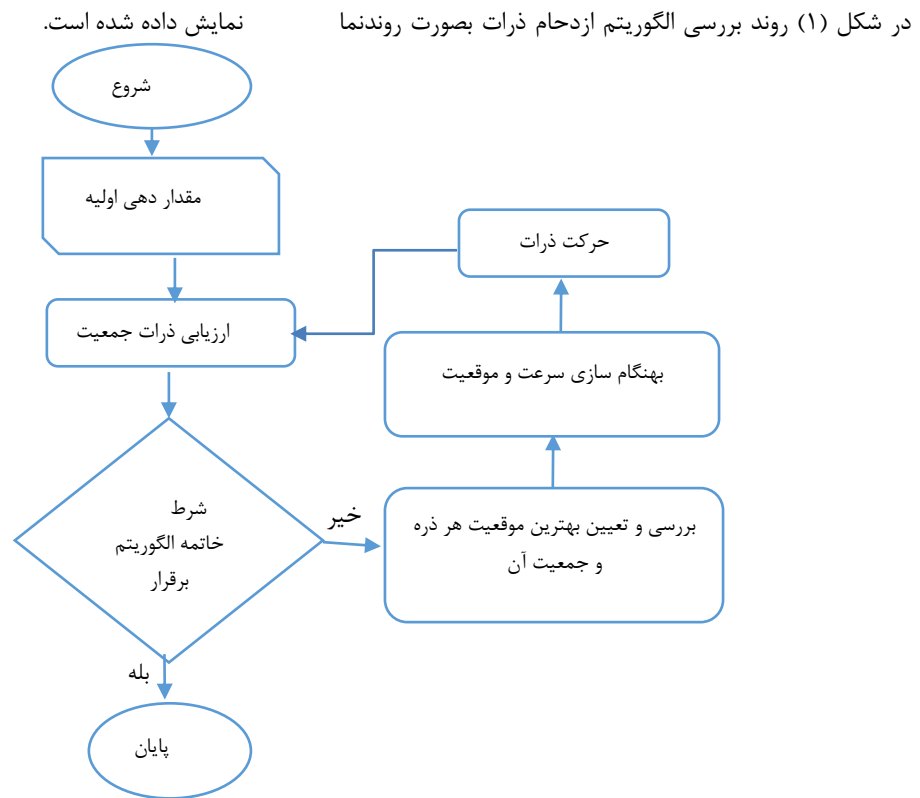
که در آن $\phi_{initial}$ و ϕ_{final} به ترتیب مقادیر ضریب اندیس اولیه و نهایی می‌باشند. تعداد کل تکرارها نیز بیشینه می‌باشد.

نام عملکرد در مباحث طراحی مطرح شده است. در علم مهندسی سازه و زلزله با ورود و جایگزینی روش طراحی براساس عملکرد به جای روش قدیمی طراحی براساس نیرو، بسیاری از آیین‌نامه‌های طراحی، در حال گذر از یک سری تغییرات بنیادی هستند. هدف از طراحی لرزه‌ای براساس عملکرد، قادر ساختن مهندسان به طراحی سازه‌هایی است که عملکردشان قابل پیش‌بینی باشد یا در حقیقت هدف وارد کردن کارفرما در انتخاب میزان آسیب‌پذیری ساختمان در سطوح مختلف زمین لرزه است. در این پژوهش از روش الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) برای طراحی بهینه قاب خمشی فولادی ۵ طبقه براساس سطح عملکرد LS، IO و CP با توجه به آیین‌نامه FEMA-356 برای بارهای ثقلی و جانبی استفاده شده است.

۳- مواد و مصالح

۳-۱- الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)

جمیز کندی و راسل ابرهات صاحبان اصلی این ایده الگوریتم PSO می‌باشد. آن‌ها در ابتدا قصد داشتن که با بهره‌گیری از مدل‌های اجتماعی و روابط موجود اجتماعی، نوعی از هوش محاسباتی را به وجود بیاورند که به توانایی‌های فردی ویژه نیازی نداشته باشند. اولین شبیه‌سازی آن‌ها را که در سال ۱۹۹۵ انجام گرفت که آن‌ها را به سمت شبیه‌سازی رفتار پرندگان برای یافتن دانه رهنمود کرد. الگوریتم PSO یکی از الگوریتم‌های تکاملی است که از مدل واقعی در طبیعت الهام گرفته شده است (کندی و ابرهات ۱۹۹۵). الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات مشابه با الگوریتم‌های تکاملی یک الگوریتم جمعیتی بوده که در آن تعدادی ذره که راه‌های کاندیدای یک تابع با یک مسئله هستند، یک ازدحام (جمعیت) را تشکیل می‌دهند. این ذرات در فضای مسئله حرکت کرده و براساس تجربیات فردی خود و تجربیات جمعی سعی می‌کنند تا راه حل بهینه در فضای جستجو را بیابند. این روش به وسیله ابعاد و غیر خطی بودن مسئله خیلی تحت تاثیر قرار نگرفته و نتایج خوبی در محیط‌های استاتیک، نویزی و محیط‌های به طور پیوسته در حال تغییر می‌گیرد. این ویژگی‌ها به علاوه سادگی پیاده‌سازی، عدم الزام بر پیوستگی تابع هدف و توانایی وفق دادن به محیط پویا باعث شده که این الگوریتم در حوزه‌های بسیار مختلفی بکار برده می‌شود. در این الگوریتم سرعت و مکان جدید هر ذره که براساس موقعیت بهترین ذره گروه و بهترین مکانی که خود ذره تجربه کرده براساس فرمول‌های (۱) بدست می‌آید [۱].



شکل ۱: الگوریتم ازدحام ذرات PSO

غیرارتجاعی شده و باعث اتلاف انرژی ناشی از زمین لرزه می‌شود.

۳-۴- بهینه سازی

بهینه‌سازی سازه‌ها، یک فرآیند حل برای یافتن متغیرهای طراحی در چارچوب فرمول بندی زیر می‌باشد:

(۵)

$$\text{Find } X: X_j \in R^d; \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$\text{To Minimize } \phi(x)$$

$$\text{Subject to } g_i(x, t); \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

در روابط بالا n تعداد متغیرهای طرح و m قیود مسئله هستند. X ها متغیرهای ورودی و $\phi(x)$ تابع هدف مساله می باشد. در این تحقیق متغیرهای ورودی، اعضا قاب هستند و تابع هدف، مجموع وزن اجزای سازه است که به صورت رابطه (۶) بیان می‌شود.

(۶)

۳-۵- مفهوم طراحی لرزه ای براساس عملکرد

در طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها، هدف این نیست که سازه در برابر شدیدترین زلزله ممکن است دچار هیچ‌گونه آسیبی نشود، چون این امر ضروری نیست و از لحاظ اقتصادی مناسب نمی‌باشد. به بیان دیگر در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، طراح این حقیقت را می‌پذیرد که سازه در طول زلزله‌های بزرگ مقداری از

۳-۲- قاب‌های فولادی

قاب‌های فولادی از جمله سیستم‌های مورد استفاده برای مقاومت در برابر زلزله می‌باشد. نوسان ساختمان در زمان تکان‌های زلزله و نیروهای اینرسی در آن‌ها در جابجایی هستند. از این جهت این نیروها در امتداد مسیرهای مختلفی حرکت می‌کنند و به آن‌ها مسیر نیرو گفته می‌شوند، تا در انتها از طریق فونداسیون به خاک انتقال پیدا کنند. تولید نیروهای پایه در جنبش نوسان اولیه و انتقال نهایی نیرو از طریق فونداسیون مشخصا از طریق هندسه تمام ساختمان تحت تاثیر قرار خواهد گرفت [۱۲].

۳-۳- انواع قاب های فولادی

در ساختمان‌های فولادی می‌توان قاب‌های مختلفی بکار برد از جمله آن‌ها می‌توان به قاب‌های خمشی (MRF)، قاب‌های مهاربندی شده هم مرکز (CBF)، قاب‌های مهاربندی شده خارج از مرکز (EBF) و سیستم دوگانه ترکیبی از قاب خمشی و قاب‌های مهاربندی شده نام برد. سیستم‌های مهاربندی به طور عمومی از سیستم‌های مهاربندی نوع هم مرکز (هم محور) یا خارج از مرکز (برون محور) تشکیل شده‌اند. مهاربندی‌های هم مرکز، سختی سازه را افزایش و تغییر مکان سازه را کاهش می‌دهند و نسبت به قاب خمشی معادل دارای عملکرد بهتری می‌باشند. مهاربندی‌های برون محور از ترکیب دو خصیصه سختی جانبی و جذب انرژی بهره برده و از آن‌ها استفاده می‌کنند. در سیستم برون محوری اتصال مهاربندی باعث به وجود آمدن لنگرهای خمشی و نیروهای برشی بزرگی در ناحیه تیر نزدیک مهاربند می‌شود. به این طریق تنش‌های این ناحیه از تیر (تیر پیوند) وارد محدود

آنالیزهای آماری بر روی نتایج حاصل از آنالیزهای تاریخچه زمانی مدل‌های یک درجه آزادی استوارند.

$$\frac{F_v S_1^i}{T} \quad \text{if} \quad T > T_0^i \quad (9)$$

T_0 مطابق رابطه زیر بدست می‌آید.

$$T_0 = \frac{F_v S_1}{F_a S_s} \quad (10)$$

۳-۷- شتاب طیفی FEMA-360

$$S_a^i \begin{cases} F_a S_s^i \left(0.4 + \frac{3T}{T_0}\right) & \text{if} \quad 0 < T \leq 0.2T_0^i \\ F_a S_s^i & \text{if} \quad 0.2T_0^i < T \leq T_0^i, i = I_0, LS, CP \\ \frac{F_v S_1^i}{T} & \text{if} \quad T > T_0^i \end{cases} \quad (11)$$

که در روابط بالا S_s مقدار شتاب طیفی در پیوند کوتاه ۰٫۲ ثانیه و S_1 مقدار شتاب طیفی در پیوند بلند ۱ ثانیه در سطح خطر مورد نظر می‌باشد، که براساس مرجع شماره [۱۳] بدست آمده است. F_a و F_v نیز پارامترهای مربوط به ساختگاه می‌باشند که با توجه به خاک منطقه از جداول موجود در آیین نامه FEMA-356، استخراج می‌شوند. مقادیر B_1 و B_s برای میرایی ۵٪ برابر ۱ می‌باشد. T تناوب طبیعی تقریبی ساختمان مورد نظر است که برای سازه‌های فولادی طبق آیین نامه مذکور مقدار آن برابر با $T=0.35^{0.8}$ می‌باشد. در این رابطه h بر حسب فوت می‌باشد. مقادیر این ضرایب بر اساس مشخصات منطقه‌ای تهران و سطح خطر ۱ مطابق جدول (۱) می‌باشد [۱۳].

جدول (۱): پارامترهای محاسبه شتاب طیفی

سطح خطر ۱	$S_s(g)$	$S_1(g)$	F_v	F_a
۵۰ سال / ۱۰٪	۰٫۷۱۴	۰٫۲۸۹	۱٫۵۱۱	۱٫۱۱۴

۴- نتایج و بحث

در این پژوهش، بهینه‌سازی قاب خمشی فولادی ۹ طبقه برای سطوح عملکرد LS، IO، CP و سطح خطر ۱ (۱۰ درصد احتمال رخداد در ۵۰ سال) صورت گرفته است. به جهت ساده‌سازی، المان‌ها تیپ بندی شده‌اند. تحلیل‌های بارافزون سازه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار OPENSEES و همچنین از محیط برنامه نویسی نرم‌افزار MATLAB استفاده و بهینه‌سازی توسط الگوریتم ازدحام ذرات صورت گرفته است. بار مرده در تمام طبقات برابر با ۳۰۰۰۰ و بار زنده ۱۰۰۰۰ نیوتون بر متر می‌باشد. برای بارگذاری ثقلی از ترکیب بار زیر استفاده شده است.

عملکرد خود را از دست بدهد. با توجه به این حقیقت هدف اصلی در طراحی لرزهای این است که خرابی یک سازه تحت زلزله‌های مختلف به اندازه قابل توجهی کاهش یابد. در واقع هدف طراحی بیانگر سطح عملکرد مورد نیاز برای سازه تحت وقوع زلزله‌هایی با شدت‌های مختلف (دوره بازگشت مشخص) می‌باشد. اهداف طراحی باید طبق کاربری سازه، نوع سیستم و رفتار سازه، شرایط اقتصادی (شامل هزینه‌های ساخت و تعمیرات آتی) و عوامل اجتماعی-سیاسی انتخاب شود. سطح عملکردی بیانگر حداکثر خرابی مورد انتظار سازه است بطوری‌که اگر خرابی از این مقدار افزایش پیدا کند، سطح عملکردی سازه نیز تغییر پیدا خواهد کرد. وضعیت اکثر اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای در توصیف این سطوح عملکردی موثر می‌باشند. با ترکیب سطوح عملکرد سازه‌ای و غیر سازه‌ای سطح عملکرد ساختمان به منظور تشریح میزان خرابی مورد انتظار در ساختمان تعیین می‌شود. این سطوح تشکیل شده از سطح عملکرد خدمت رسانی بی‌وقفه، سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه، سطح عملکرد ایمنی جانبی و سطح عملکرد آستانه فروریزش می‌باشد [۱۳].

۳-۶- آنالیز استاتیکی غیر خطی

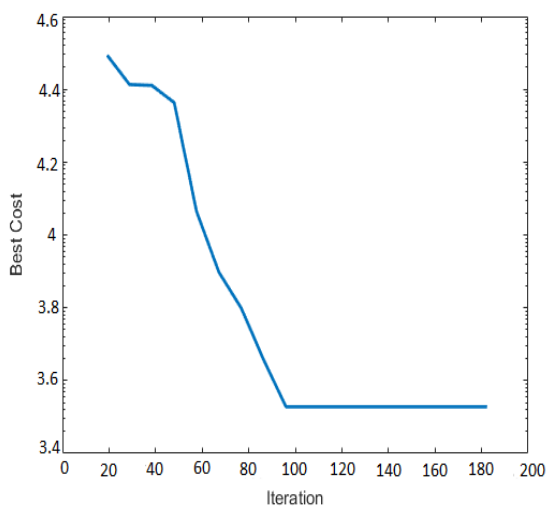
از دیرباز تا کنون در زمینه مهندسی سازه و زلزله روش‌های مختلفی ارائه شده است که تحلیل استاتیکی غیرخطی یا همان تحلیل پوش‌آور از آخرین دستاوردها در این زمینه می‌باشد. در این روش بار جانبی تحت اثر یک الگوی خاص مرحله به مرحله افزایش می‌یابد و تغییر مکان جانبی یک نقطه کنترلی در تراز بام با استفاده از نمودار برش پایه تغییر مکان بام ارزیابی می‌شود. در تحلیل پوش‌آور بار تا حد رسیدن تغییر مکان نقطه تحت کنترل به تغییر مکان هدف افزایش داده می‌شود مگر این‌که سازه ناپایدار شود یا برنامه در طی آنالیز با مشکلات همگرایی مواجه شود. تحلیل در تغییر مکان هدف تعیین شده و با مقیاس‌های پذیرش مورد بررسی قرار می‌گیرد. الگوی بارگذاری و رفتار اجزا سازه دو پارامتر موثر در نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی هستند. در روش آنالیز استاتیکی غیر خطی بار جانبی به صورت تک سو به سازه وارد می‌شود تا سازه به تغییر مکان مورد نظر برسد. تغییر مکان هدف بیانگر حداکثر تغییر مکان مورد انتظار در زلزله طرح می‌باشد بنابراین نیروهای ایجاد شده در سازه هنگامی که سازه به تغییر مکان هدف می‌رسد باید تقریباً با نیروهای تولید شده در زلزله طرح در سازه برابر باشند. تغییر مکان هدف براساس رابطه (۷) و (۸) محاسبه می‌گردد [۱۲].

$$\delta_t = c_0 c_1 c_2 c_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (7)$$

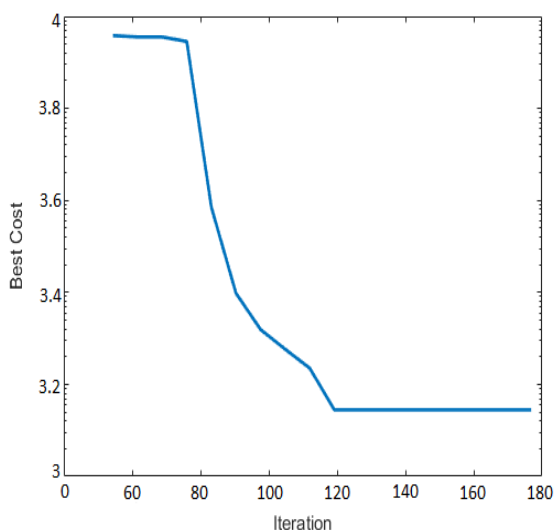
$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (8)$$

که در آن T_e زمان تناوب اصلی موثر ساختمان، T_i زمان تناوب اولیه سازه، K_e سختی موثر سازه، K_i سختی اولیه سازه، S_a شتاب طیفی متناظر با زمان تناوب اصلی موثر ساختمان می‌باشد.

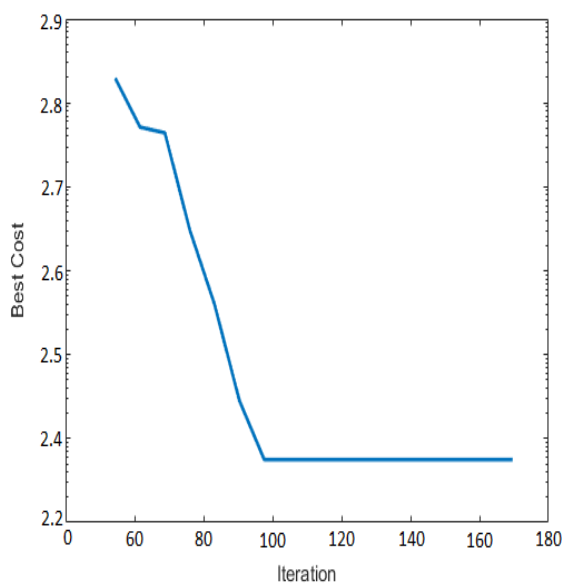
$c_0 c_1 c_2 c_3$: ضرایب اصلاح جایجایی هستند که براساس یک سری



شکل (۳): بهینه‌سازی قاب ۹ طبقه در سطح عملکرد I-O



شکل (۴): بهینه‌سازی قاب ۹ طبقه در سطح عملکرد L-S



شکل (۵): بهینه‌سازی قاب ۹ طبقه در سطح عملکرد C-P

$$W=1/1 (Q_{DL}+Q_{LL}) \quad (۱۲)$$

قیدهای مسئله بهینه‌سازی کنترل چرخش مفاصل پلاستیک و تغییر مکان نسبی طبقات می‌باشد. مقادیر مجاز این قیدها براساس FEMA-356 بصورت زیر می‌باشد [۱۳].

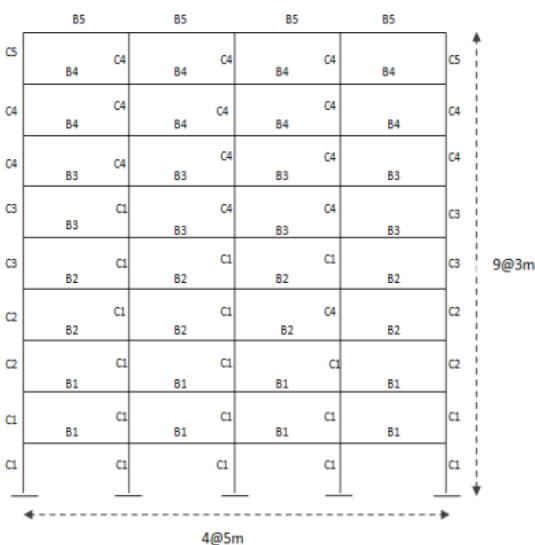
جدول (۲): مقادیر مجاز drift سطوح عملکردی

سطح عملکرد	جابه‌جایی نسبی طبقات
I-O	۰/۰۰۷
L-S	۰/۰۲۵
C-P	۰/۰۵

جدول (۳): مقادیر مجاز چرخش مفاصل پلاستیک

سطح عملکرد	تیر	ستون
I-O	θ_y	θ_y
L-S	$6\theta_y$	$6\theta_y$
C-P	$8\theta_y$	$8\theta_y$

رفتار غیر خطی مصالح در نرم افزار OPENSEES با استفاده از مدل Steel01 و بصورت دو خطی در نظر گرفته شده است. برای تعاریف مقاطع فولادی از مقطع Fiber استفاده شده است، و برای تعریف اعضا از المان nonlinear Beam Column استفاده شده است. با استفاده از این المان غیر خطی بودن مصالح در کل طول عضو در نظر گرفته می‌شود. تنش تسلیم فولاد $F_y=24e7$ نیوتون بر متر مکعب و مدول الاستیسیته فولاد $E=2e11$ نیوتون بر مترمکعب می‌باشد. در شکل (۱) تیپ بندی قاب ۹ طبقه و در شکل های (۳)، (۴) و (۵) به ترتیب نحوه همگرایی در فرآیند بهینه‌سازی ازدحام ذرات در سطوح عملکرد IO، LS و CP نشان داده شده است.



شکل ۲: تیپ بندی اعضا قاب ۹ طبقه

جدول (۴): مقاطع بهینه قاب ۹ طبقه در روش طراحی براساس عملکرد (آنالیز پوش آور)

تیپ بندی المان ها	مقایسه سطح عملکرد I-O	مقایسه سطح عملکرد L-S	مقایسه سطح عملکرد C-P
B ₁	W21*68	W14*455	W21*67
B ₂	W16*31	W14*145	W12*120
B ₃	W14*655	W14*120	W12*87
B ₄	W14*22	W14*120	W12*72
B ₅	W12*136	W14*48	W10*77
C ₁	W18*40	W21*111	W18*40
C ₂	W16*67	W14*82	W14*500
C ₃	W14*500	W14*83	W12*87
C ₄	W12*87	W12*210	W12*22
C ₅	W12*16	W12*50	W10*15
C ₆	W21*122	W16*67	W18*158
C ₇	W21*68	W14*426	W18*158
C ₈	W18*71	W14*193	W14*665
C ₉	W14*500	W10*54	W10*26
C ₁₀	W10*49	W8*40	W8*40
C ₁₁	W21*147	W21*50	W18*60
C ₁₂	W21*147	W18*76	W14*99
C ₁₃	W21*147	W16*31	W12*279
C ₁₄	W14*500	W12*152	W12*106
C ₁₅	W14*311	W12*19	W10*88
Weight (kg)	۴/۲۷۷E4	۳/۵۶۷E4	۲/۳۷۷E4

در این پژوهش طراحی بهینه قاب خمشی فولادی ۹ طبقه براساس عملکرد برای بارهای ثقلی و جانبی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات ارائه شده است. قیود مسئله بهینه‌سازی کنترل چرخش مفاصل پلاستیک و تغییر مکان نسبی طبقات برای سطوح عملکرد L-S، I-O و C-P براساس ضوابط آیین نامه FEMA-356 می‌باشد. نتایج حاصل از ۱۵ اجرای برنامه الگوریتم ازدحام ذرات به دست آمده است. با توجه به نتایج بدست آمده از بهینه‌سازی قاب ۹ طبقه که در جدول (۴) آمده است می‌توان گفت که وزن سازه در سطح عملکرد C-P از وزن همان سازه در سطح عملکرد L-S و I-O کمتر می‌باشد. همچنین وزن سازه در سطح عملکرد سازه L-S از وزن همان سازه در سطح عملکرد I-O کمتر می‌باشد. کمتر بودن وزن سازه در سطح عملکرد C-P نسبت به سطح عملکرد I-O و L-S به دلیل بیشتر بودن مقدار مجاز تغییر مکان نسبی و چرخش مفاصل پلاستیک در این سطح عملکرد می‌باشد. در واقع سازه مقدار زیادی از نیروی زلزله را با جابجایی و تغییر شکل مستهلک می‌کند و بیشتر وارد فاز غیر خطی می‌شود و چون نیاز به تحمل نیروی کمتری دارد در نتیجه مقاطع کوچک‌تر می‌شوند و وزن سازه کمتر می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در جوامع امروزی بررسی عملکرد قاب‌های ساختمانی از اهمیت بسیار بالایی در پایداری سازه‌ها برخوردار است. با بهینه‌سازی وزن سازه‌ها رفتار و عملکرد سازه را به نحو مطلوب بهبود و ارتقاء بخشید. در این پژوهش با بهره‌گیری از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) به بررسی سطوح عملکرد IO، LS و CP قاب فولادی ساختمان ۹ طبقه پرداخته شد. نتایج نشان داد که وزن سازه در سطح عملکرد CP به وزن ۴/۲۷۷E4 نسبت به سطوح عملکرد IO و LS کم‌تر بوده است. در تکمیل مطالعه حاضر، پیشنهاد می‌شود از الگوریتم‌های ژنتیک و مورچگان پیشنهاد مناسبی برای پژوهش‌های آینده است.

۶- مراجع

- [1] Eberhart R, Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory. In MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science 1995 Oct 4 (pp. 39-43).
- [2] M. S. Hayalioglu, S. O. Degertekin, "Minimum Cost Design of Steel Frames with Semi-Rigid Connections and Column Bases via Genetic Optimization", Computers and Structures, 83, 1849-1863, 2005.
- [3] A. Mosalman Yazdi, N. H. Ramli, H. 2011. Sulong, "optimization of Off-Centre bracing system using Genetic Algorithm Engineering".
- [4] Kaveh, A. and S. Talatahari, Charged system search for optimal design of frame Structures. Applied Soft Computing, 2012. 12(1): p. 382-393.
- [5] Gholizadeh S. & Fattahi F. 2012. Design optimization of tall steel buildings by a modified particle swarm algorithm. Journal of Tall and Special Buildings. Volume 23, Issue 4.
- [6] عبدلی، ن. صادقیه، ا. ۱۳۹۱. طرح بهینه مهاربندهای همگرا در قاب فولادی به روش الگوریتم ژنتیک. نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
- [7] Kaveh, A. and S. Talatahari, An improved ant colony optimization for the design of Planar steel frames. Engineering Structures, 2010. 32(3): p. 864-873.
- [8] Gholizadeh S. & Fattahi F. 2012. Design optimization of tall steel buildings by a modified particle swarm algorithm. Journal of Tall and Special Buildings. Volume 23, Issue 4.
- [9] Gil-Martín, L.M., E. Hernández-Montes, and M. Aschheim, Optimal design of planar frames based on stability criterion using first-order analysis. Engineering structures, 2006. 28(13): p. 1780-1786.

[۱۲] نویسنده: /فلاح احمدعلی | اخترخاوری آرمین همایش:
کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی/تاثیر
هندسسه ساختمان بر ظریب رفتار قاب های فولادی/سال
۱۳۹۵.

[۱۳] تقی نژاد، ر. ۱۳۸۹. طراحی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها
براساس سطح عملکرد. چاپ دوم، نشر کتاب دانشگاهی.

[10] Jármai, K., J. Farkas, and Y. Kurobane, Optimum seismic design of a multi-storey steel Frame. *Engineering structures*, 2006. 28(7): p. 1038-1048.

[11] Y. Shi. & R.C. Eberhart. 1999. Empirical study of particle swarm optimization. *Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation-CEC99* (Cat. No. 99TH8406).

Optimum design of steel frames using particle swarm algorithm (PSO)

Safa Peiman*, Amirmohammad Hassanzadeh, Ramtin Ramezani, Reza Hassanzadeh

*Associate Professor, Imam Hossein (AS) University, Tehran, Iran

Abstract

The purpose of this study is to the optimal design of steel frames using the particle swarm algorithm (PSO). The particle swarm algorithm is an evolutionary algorithm based on intelligent search. In this research, the optimization of structural design to optimize the consumption of materials in the framework of the structure has been considered. For this purpose, the optimal design of the 9-story steel bending frame based on performance for gravity and lateral loads has been described using the particle swarm algorithm. The constraints of the problem of optimizing the rotation control of plastic joints and the relative displacement of floors for LS, IO, and CP performance levels are based on FEMA-356 regulations. After running the algorithm code 15 times in Matlab software, the results showed that the weight of the structure in the C-P performance level was less than 2.4377 E4377 compared to the L-S and I-O performance levels with 3.4 E4567 and 4.4 E4277, respectively.

Keywords: Optimization, metakaolin, Particle swarm algorithm, Steel frame, Matlab