بهینه کردن موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه جهت حداقل کردن ممان خمشی با الگوریتم گروه ذرات تحت بارگذاری چندگانه

علی قدوسیان[۱]، مجتبی شیخی[۲،*]

اطلاعات مقاله

واژگان کلیدی:
موقعیت تکیه‌گاه های سازه،
حداقل ممان خمشی حداکثر،
الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات،
بارگذاری چندگانه.

چکیده

تعیین موقعیت بهینه برای تکیه‌گاه‌های سازه یکی از مسائل مهم و پر کاربرد در مهندسی بوده و در بالا بردن کارایی سازه نقش مهمی دارد. در این مقاله برای تعیین موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌های سازه، با استفاده از روش المان محدود، مقدار بیشینه ممان خمشی در سازه تحت بارگذاری چندگانه کمینه می شود. روش بهینه سازی به کار رفته در این مقاله بر پایه الگوریتم های الهام گرفته از طبیعت، الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات است. این روش در مقایسه با روش های گذشته نسبت به تعیین موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌ها، روشی قدرتمند و غیر حساس بوده و در زمانی کمتر به نتایج بهتری می رسد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که تعیین موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌ها با استفاده از این روش می تواند مقدار ممان خمشی بیشینه سازه را به طور قابل ملاحظه ای نسبت به کارهای گذشته کاهش دهد.

۱- مقدمه

سازه‌های مهندسی از جمله پل‌ها، اسکلت ساختمان‌ها، دکل های مخابراتی و سازه‌های فضایی دارای کاربرد عملی زیادی هستند. ممان خمشی در اعضای آنها همیشه یکی از مهمترین معیارها برای رسیدن به یک طراحی ایمن و مناسب بوده است. بنابراین کاهش حداکثر ممان خمشی در سازه ها یکی از پارامترهای مهم در طراحی مهندسی به شمار می آید. در چند سال اخیر بر روی بهینه سازی سازه از لحاظ اندازه، شکل و توپولوژی برای به دست آوردن حداقل وزن سازه تحت قیود مختلف از جمله خیز، تنش، فرکانس طبیعی و بار بحرانی کمانش کارهای زیادی انجام شده است. در تمام این مسائل می توان با در نظر گرفتن موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌ها و طراحی دوباره آنها کارایی سازه را بهبود بخشید.

اخیراً به دست آوردن موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه برای دستیابی به کارایی و بهبود سازه به منظور کاهش حداکثر ممان خمشی سازه[۱و۲]، کاهش حداکثر خیز در سازه[۳]، افزایش فرکانس طبیعی[۴و۵] و افزایش بار کمانشی سازه[۶] و یا حتی حداقل کردن تنش و کرنش در قطعه کار در خلال فرایند ماشین کاری[۷] و ... مورد توجه محققین قرار گرفته است. با این حال تاکنون مطالعات کمی در مورد کاهش ممان خمشی حداکثر با استفاده از تغییر در موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه انجام شده است. امام و الشیری[۱] مطالعاتی در زمینه بهینه کردن موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه برای رسیدن به حداقل ممان خمشی حداکثر در سازه انجام داده‌اند. مطالعه آنها بر پایه استفاده از روش بهینه سازی جهات امکان پذیر و استفاده

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: mojtabasheikhi@gmail.com
۱.استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان
۲. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

از آنالیز حساسیت و همچنین روش تفاضل محدود بوده که روشی پیچیده و با دقت کم است. هرناندز و پرززن [۸] نیز با استفاده از آنالیز حساسیت برای تنش عمودی نسبت به موقعیت تکیه‌گاه‌ها به بهینه کردن آنها پرداخته‌اند. وانگ[۲] نیز با استفاده از روش المان محدود و به کارگیری یک الگوریتم ابتکاری به کمک آنالیز حساسیت، موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌های سازه را برای رسیدن به حداقل ممان خمشی حداکثر در سازه تعیین می کند. در روش ارائه شده توسط وانگ، محل تکیه‌گاه‌ها به صورت ناپیوسته بوده و فقط می تواند روی گره‌های سازه قرار گیرد. از آنجا که در این روش از آنالیز حساسیت برای بهینه سازی استفاده شده و نمی‌توان به یک تابع صریح برای آنالیز حساسیت ممان خمشی نسبت به محل تکیه‌گاه‌ها دست پیدا کرد، استفاده از آنالیز حساسیت باعث پیچیدگی راه حل شده است.

با تعیین موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌های یک سازه می توان پارامترهای مهم در طراحی از جمله ممان خمشی حداکثر، تنش، خیز، نیروی برشی و ... در سازه را کاهش داد و به یک طراحی با کارایی بالا و ایمن دست یافت. در این مقاله با تعیین موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌ها، مقدار حداکثر ممان خمشی در سازه مینیمم می شود. برای این منظور باید این نکته را در نظر داشت که عضوی از سازه که به آن مقدار ممان خمشی حداکثر اعمال می گردد، همواره ثابت نیست و با عوض شدن محل تکیه‌گاه‌ها در حین فرایند حل از یک نقطه به نقطه دیگر تغییر می کند، طوری که تغییرات ممان خمشی حداکثر در سازه نسبتاً شدید است. این موضوع باعث عدم کارایی روش های بهینه سازی و پیچیده تر شدن محاسبات می گردد. از طرف دیگر علاوه بر اینکه محل اعمال حداکثر ممان خمشی در هر مرحله بهینه سازی تغییر می کند، مقدار آن نیز دارای تغییرات شدیدی است و از یک مقدار مثبت بزرگ به یک مقدار منفی کوچک می رسد. بنابراین تابع هدف برای این مسئله، شدیداً غیر خطی نسبت به موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه می باشد. با توجه به موارد ذکر شده، در صورت استفاده از روش های بهینه سازی مرتبه اول که برای به دست آوردن نقطه بهینه به مشتق تابع هدف نسبت به متغیرهای طراحی نیاز دارند، علاوه بر اینکه جواب دقیقی به دست نمی‌آید، پیچیدگی محاسبات مسئله نیز بیشتر می گردد. به همین خاطر در این مقاله از روش بهینه سازی گروه ذرات[1] (PSO) که روشی مرتبه صفر بوده و به محاسبه مشتق تابع هدف نسبت به موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه نیاز ندارد، استفاده شده است.

۲-الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات

الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات یک روش بهینه سازی جدیدی است که توسط کندی و آبرهارت ابداع شد[۹]. این الگوریتم از مشاهده رفتار اجتماعی پرندگان و ماهی‌ها الهام گرفته شده است. در این الگوریتم هر ذره (پرنده) فضای اطرافش را برای پیدا کردن کمینه یا بیشینه محلی جستجو می کند. در طی فرایند جستجو هر ذره موقعیت خود را طبق تجربه‌های قبلی خودش و تجربه بهترین همسایه‌اش اصلاح می کند. دو روش کلی برای بهینه سازی گروه ذرات وجود دارد که تفاوت آنها در چگونگی انتخاب همسایه‌ها است [۱۰].

برای فرموله کردن الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات دو متغیر X وV به ترتیب به عنوان موقعیت و سرعت ذرات تعریف می شود. بهترین موقعیت ذره (از لحاظ شایستگی در تابع هدف) با Pbest و بهترین موقعیت بهترین ذره در کل گروه با عنوان Gbest شناخته می شود[۹]. موقعیت ذره iام در طی فرایند بهینه سازی با استفاده از رابطه ۱ تغییر می کند.

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1) \qquad (۱)$$

در رابطه فوق t نشان دهنده زمان (شمارنده تعداد تکرار)، $X_i(t)$ و $X_i(t+1)$ به ترتیب موقعیت ذره i در زمان t و

[1] Particle Swarm Optimization

t+۱ است. عبارت $V_i(t+1)$ بیانگر سرعت ذره iام در زمان t+۱ می باشد و به صورت رابطه ۲ محاسبه می شود.

$$V_i(t+1) = wV_i(t) + C_1 r_1(t)(Pbest_i - X_i(t)) + C_2 r_2(t)(Gbest - X_i(t)) \quad (۲)$$

در رابطه فوق $V_i(t)$ سرعت ذره iام در زمان t، w ضریب وزنی اینرسی، C_1 و C_2 به ترتیب ضرایب ثابت شتاب دهنده برای سهیم کردن بهترین تجربه خود ذره و گروه ذرات و $r_1(t)$ و $r_2(t)$ دو عدد تصادفی بین صفر و یک بوده که این ضرایب تصادفی باعث اتفاقی شدن الگوریتم می‌شود [۱۱].

انتخاب مناسب ضریب اینرسی مهمترین پارامتر در همگرایی الگوریتم بوده و سبب تعادل در جستجوی محلی و کلی فضای مسئله خواهد شد. هر چه مقدار ضریب اینرسی بیشتر باشد ذره در گستره‌ی وسیعتری از فضا بدون توجه به تجربه شخصی خود و گروه جستجو می‌کند و مقدار کمتر آن باعث حرکت ذره در اطراف موقعیت فعلی می شود. عموماً برای عملکرد بهتر الگوریتم گروه ذرات، مقدار ضریب اینرسی در مراحل ابتدایی فرایند بهینه سازی دارای مقادیر بزرگتری است و با پیشرفت الگوریتم از مقدار آن کاسته می گردد. برای کاهش ضریب اینرسی از رابطه ۳ می توان استفاده نمود.

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{t_{\max}} t \quad (۳)$$

در رابطه فوق $t_{\max}$ نشان دهنده ماکزیمم تعداد تکرار الگوریتم، $w_{\min}$ و $w_{\max}$ به ترتیب ضرایب اینرسی حداقل و حداکثر می باشد.

در روابط ۱ و ۲ برای جلوگیری از واگرا شدن فرایند بهینه سازی، سرعت ذره به وسیله رابطه ۴ محدود می‌شود.

$$V \in \left[-V_{\max} \quad V_{\max}\right] \quad (۴)$$

در رابطه فوق $V_{\max}$ جستجوی محلی را بهبود می دهد و در واقع فرایند یادگیری تدریجی ذره را مدل می کند. در صورت انتخاب $V_{\max}$ بزرگ، ممکن است ذره از نقطه بهینه عبور کند، ولی اگر $V_{\max}$ کوچک انتخاب گردد، همگرایی الگوریتم کند شده و ذره ممکن است در دام کمینه محلی بیفتد. معمولاً مقدار $V_{\max}$ بین ۱۰ تا۲۰ درصد رنج متغیر در هر بعد در نظر گرفته می شود [۱۲].

۳-تعریف مسئله بهینه سازی

در سازه های مهندسی، تکیه‌گاه‌های سازه برای مهار کردن سازه ها و مانع شدن از جابه جایی بیش از حد آنها به کار می رود. برای طراحی بهینه موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه باید مواردی که در ادامه ذکر می‌شود را مد نظر داشت. موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه باید در یک دامنه تعریف شده مشخص قرار گیرد و همچنین موقعیت آنها می‌تواند به دلایل مختلف از جمله تقارن سازه، شرایط هندسی، محدودیت در تعداد تکیه‌گاه‌ها، محدودیت در اجرای سازه و یا موارد دیگر باهم ارتباط داشته باشد. با تغییر محل تکیه‌گاه‌های سازه محل اعمال ممان خمشی حداکثر، علامت و مقدار آن تغییر می کند که این باعث پیچیدگی حل مسئله می‌گردد. در این مقاله هدف مسئله کمینه کردن مقدار بیشینه ممان خمشی سازه تحت اثر بارگذاری چند گانه می‌باشد. با توجه به موارد اشاره شده، مسئله بهینه سازی موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه را از لحاظ ریاضی می توان به صورت رابطه ۵ بیان نمود.

$$Minimize \;\; Max\{|M|\}$$
$$S.to: \begin{cases} X_{Li} \le X_i \le X_{Ui}, i = 1,2,\ldots,k \\ X_d = f(X_j), \; d = 1,2,\ldots,n \end{cases} \quad (۵)$$

در رابطه فوق X_i موقعیت iامین تکیه‌گاه مستقل، X_d موقعیت dامین تکیه‌گاه وابسته، X_{Li} و X_{Ui} به ترتیب کران پایین و بالا برای موقعیت تکیه‌گاه iام، k و n نیز تعداد تکیه‌گاه های مستقل و وابسته سازه می باشد. در این رابطه عبارت $Max\{|M|\}$ مقدار قدرمطلق بیشینه ممان خمشی در کل سازه است. چون با عوض شدن محل تکیه‌گاه‌های سازه مقدار ممان خمشی از مثبت به منفی و یا بالعکس تغییر می کند، تابع هدف قدرمطلق ممان خمشی در کل سازه در نظر گرفته شده است.

۴-به کارگیری الگوریتم گروه ذرات جهت یافتن موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌های سازه

مراحل اجرای الگوریتم گروه ذرات برای یافتن محل بهینه تکیه‌گاه‌های سازه به منظور کمینه کردن مقدار ممان خمشی بیشینه سازه به صورت زیر انجام می شود.

۱- تولید موقعیت (موقعیت تکیه‌گاه های سازه) و سرعت اولیه ذرات به صورت تصادفی.

۲- محاسبه مقدار بیشینه ممان خمشی در سازه به ازای موقعیت‌های تولید شده فوق برای بارگذاری های اعمالی به سازه با استفاده از روش المان محدود[۱۳].

۳- در نظر گرفتن Pbest برای هر ذره برابر موقعیت اولیه‌اش و نیز پیدا کردن Gbest یعنی برترین ذره در میان گروه ذرات از نظر میزان شایستگی در تابع هدف.

۴- محاسبه سرعت و موقعیت جدید هر ذره با استفاده از روابط ۱ و ۲.

۵- محاسبه مقدار بیشینه ممان خمشی برای سازه به ازای هر یک بارگذاری های اعمالی به سازه برای هر ذره.

۶- در نظر گرفتن بیشترین مقدار بیشینه ممان خمشی به ازای تمام بارگذاری های اعمالی به سازه.

۷- جایگزین کردن مقدار موقعیت فعلی هر ذره به جای Pbest همان ذره در صورتی که تابع هدف فعلی ذره از مقدارش در Pbest قبلی بهتر باشد.

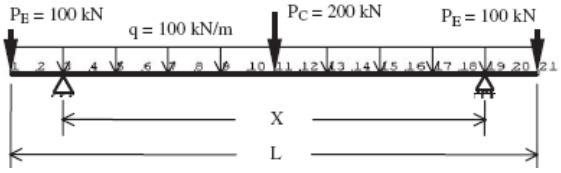
۸- یافتن بهترین موقعیت در بین موقعیت‌های فعلی ذرات از نظر میزان شایستگی در تابع هدف و جایگزین کردن آن به جای Gbest در صورتی که مقدار شایستگی آن از مقدار قبلی Gbest بهتر باشد.

۹- تکرار مراحل ۴ الی ۸ تا رسیدن به شرط همگرایی مسئله.

جواب نهایی مسئله از تعیین Gbest بعد ارضا شدن شرط همگرایی به دست می آید.

۵-ارائه مثال

برای نشان دادن چگونگی نحوه عملکرد و کارایی روش بهینه‌سازی گروه ذرات برای یافتن موقعیت بهینه تکیه‌گاه های سازه نسبت به روش های پیشین در این جا حل چند مثال ارائه شده است. به عنوان مثال اول سازه شکل ۱ که وانگ [۲] موقعیت تکیه‌گاه‌های آن را با استفاده از روش Evolutionary Shift به دست آورد، در نظر گرفته شده است. این سازه یک تیر یکنواخت به طول ۲ متر با دو تکیه‌گاه ساده و دارای مقطع مربعی به طول ۰/۱ متر و مدول الاستیسیته ۲۱۰GPa است. تیر تحت بارگسترده و متمرکز قرار گرفته است.



شکل ۱- تیر یکنواخت ساده با دو تکیه گاه ساده با مش بندی اولیه

به دلیل تقارن در شکل هندسی و بارگذاری سازه، موقعیت تکیه‌گاه‌ها برای رسیدن به کمترین مقدار بیشینه ممان خمشی نیز باید به صورت متقارن قرار بگیرند. بنابراین برای تعیین موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌های این سازه، متغیر طراحی X/L در نظر گرفته شده است. برای به دست آوردن بیشینه ممان خمشی از روش المان محدود، تیر به ۲۰ المان تقسیم شده است.

وانگ [۲] برای به دست آوردن موقعیت بهینه تکیه‌گاه های سازه، در ابتدا آنالیز حساسیت ممان خمشی در اثر تغییر موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه را با استفاده از روش Adjoint Variable مورد بررسی قرار داده [۱۴] و سپس با استفاده از روش بهینه سازی ابداعی خود با

نام Evolutionary Shift به کمینه کردن مقدرا بیشینه ممان خمشی سازه می پردازد. وانگ برای محاسبه مقدار حساسیت ممان خمشی نسبت به موقعیت تکیه‌گاه‌ها متغیر X را برای مختصات موقعیت تکیه‌گاه‌ها در نظر گرفت و سپس بار مجازی[1] $\{Z\}$ با رابطه ۶ را به هر عضو eام از سازه اعمال نمود.

$$\{Z\} = \frac{\partial M_e}{\partial \{u_e\}} = EI[T_c]^T[B]^T \qquad (۶)$$

در رابطه فوق E مدول الاستیسیته، I ممان اینرسی مقطع، $[T_c]$ ماتریس تبدیل از دستگاه محلی به کلی و $[B]$ ماتریس توابع شکل هرمیت می‌باشد [۱۵]. بعد از اعمال بار مجازی ذکر شده به سازه، بردار Adjoint variable، $\{\Lambda\}$ را می توان با حل معادله ۷ به دست آورد.

$$[K]\{\Lambda\} = \{Z\} \qquad (۷)$$

اکنون مقدار حساسیت ممان خمشی نسبت به موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه را می توان با استفاده از رابطه ۸ به دست آورد.

$$\frac{\partial M_e}{\partial X} = \{\Lambda\}^T\left(\frac{\partial\{P\}}{\partial X} + \frac{\partial[K]}{\partial X}\{u\}\right) \qquad (۸)$$

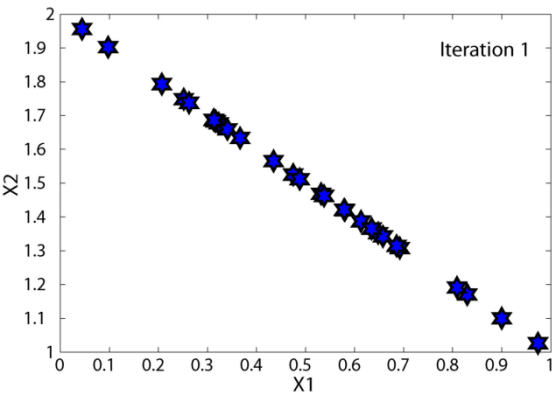
در رابطه فوق $[K]$ ماتریس سختی سازه، $\{P\}$ بردار نیروهای وارد بر سازه و $\{u\}$ بردار جابجایی گره‌های سازه می باشد.

بعد از به دست آوردن مقدار حساسیت ممان خمشی نسبت موقعیت تکیه‌گاه‌ها به کمک رابطه ۸، بر مبنای روش Evolutionary Shift باید موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه در جهت بیشترین مقدار حساسیت ممان نسبت به موقعیت تکیه‌گاه‌ها (جهت حداکثر کاهش مقدار ممان خمشی به کمک روش بیشترین کاهش[2]) جابه‌جا گردد و این روند تا رسیدن به حالت بهینه ادامه پیدا کند. در این روش موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه فقط می تواند بر روی گره های سازه در مش بندی اولیه سازه قرار گیرد. به عنوان مثال در سازه شکل ۱ تکیه‌گاه‌ها صرفاً می توانند بر روی ۲۱ گره نشان داده شده، قرار گیرند. از طرفی دیگر در صورتی که در حین فرایند بهینه سازی، این الگوریتم به یک موقعیت بهینه محلی برسد، دیگر قابلیت فرار از بهینه محلی را نداشته و همین موقعیت تکیه‌گاه‌ها را به عنوان موقعیت بهینه به طراح اعلام می کند. در این روش زمانی که یک حالت نوسانی برای تکیه‌گاه‌ها بین دو گره خاص به وجود آید، الگوریتم در عمل به حالت بهینه رسیده است.

در این مقاله برای به دست آوردن موقعیت بهینه تکیه‌گاه های سازه با استفاده از روش بهینه سازی گروه ذرات یک جمعیت اولیه‌ای برابر با ۳۰ ذره با ضرایب شتاب دهنده $C_1 = C_2 = ۰/۵$ در نظر گرفته شده است.

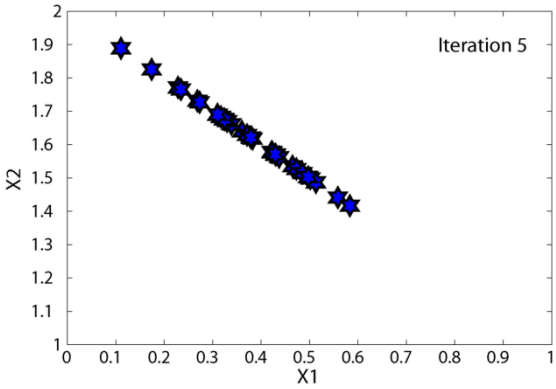
در شکل ۲ چگونگی روند رسیدن به نقطه بهینه برای سازه شکل ۱ با دو تکیه‌گاه ساده آورده شده است. در قسمت‌های مختلف شکل ۲، X_1 موقعیت تکیه‌گاه اول و X_2 موقعیت تکیه‌گاه دوم نسبت به انتهای سازه می‌باشد.

همان طور که در این شکل ها ملاحظه می گردد، با پیشرفت الگوریتم تمام ذرات به سمت نقطه بهینه حرکت می کنند و بعد از حدود ۲۰ تکرار تقریباً به یک نقطه که همان نقطه بهینه است، همگرا می شوند. علت قرار گرفتن تمام ذرات در یک راستا در این شکل‌ها، در نظر گرفتن شرط تقارن در موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه می باشد.

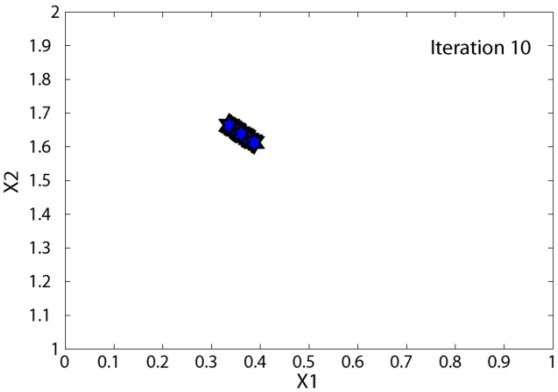


شکل ۲_الف- چگونگی قرارگیری موقعیت تکیه‌گاه‌ها در تکرار اول

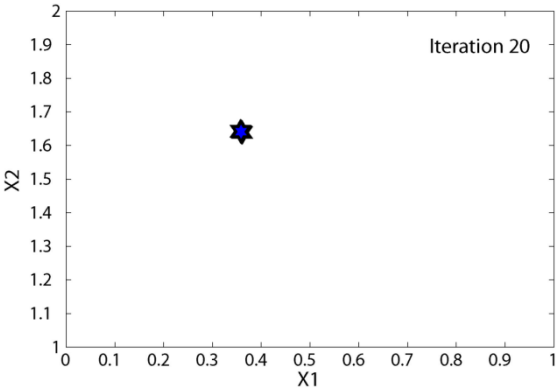
[1] Dummy Load
[2] Steepest Descent



شکل ۲_ب- چگونگی قرارگیری موقعیت تکیه‌گاه‌ها در تکرار پنجم



شکل ۲_پ- چگونگی قرارگیری موقعیت تکیه‌گاه‌ها در تکرار دهم



شکل ۲_ت- چگونگی قرارگیری موقعیت تکیه‌گاه‌ها در تکرار بیستم

در این حالت نقطه بهینه با استفاده از روش بهینه سازی گروه ذرات به ازای X/L =۰/۶۴۰۹ و مقدار بیشینه ممان خمشی ۴۲/۳۴۶ KNm به دست می آید. در این حالت موقعیت تکیه‌گاه‌ها در X_1=۰/۳۵۹۱m و X_2=۱/۶۴۰۹m نسبت به دو انتهای تیر قرار می گیرد.

همان طور که ملاحظه می گردد، موقعیت بهینه به دست آمده برای تکیه‌گاه‌ها بر روی گره های اولیه سازه شکل ۱ قرار نگرفته است. در اینجا برای اعمال شرط مرزی نزدیکترین گره به تکیه‌گاه به محل تکیه‌گاه منتقل شده و سپس ماتریس سختی سازه صرفاً برای المان هایی که دچار تغییر شده‌اند اصلاح می گردد. با این ترفند در حین فرایند بهینه سازی دیگر نیازی به عوض کردن مش بندی کلی سازه و بالا رفتن حجم محاسبات برای تحلیل سازه نیست. از طرفی دیگر اعمال این راهکار در مسئله، باعث تبدیل متغیرهای مسئله از حالت گسسته به پیوسته شده و همچنین الگوریتم قابلیت رسیدن به نقطه بهینه سراسری را خواهد داشت. این در حالی است که ذات این مسئله دارای متغیرهای به صورت پیوسته می باشد. بیشتر روش های بهینه سازی از جمله روش گروه ذرات در رسیدن به جواب بهینه سراسری در مسائل با متغیر گسسته با مشکل روبه‌رو هستند، که این مشکل نیز با این ترفند بر طرف گردیده است.

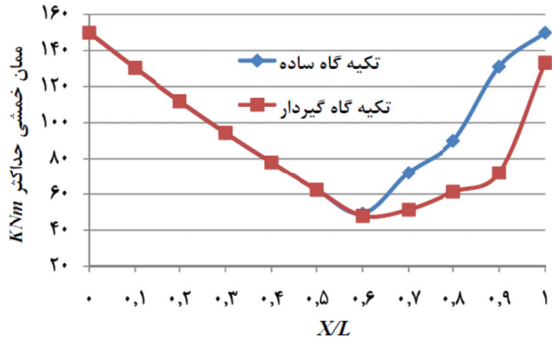
در جدول ۱ مقایسه‌ای بین نتایج به دست آمده با استفاده از روش evolutionary shift [۲] و روش بهینه سازی گروه ذرات برای سازه شکل ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مقایسه بین نتایج به دست آمده توسط روش های بهینه سازی Evolutionary Shift و گروه ذرات

روش بهینه سازی	X/L	M_{max} (KNm)
Evolutionary Shift [۲]	۰/۶	۴۸/۰۰
گروه ذرات	۰/۶۴۰۹	۴۲/۳۴

مقدار بیشینه ممان خمشی در حالت بهینه با استفاده از روش بهینه سازی گروه ذرات حدود ۱۲ درصد کاهش را نسبت به حالت استفاده از روش evolutionary shift نشان می دهد. روش ارائه شده در این مقاله را می توان به ازای هر نوع تکیه‌گاه از جمله گیردار، مفصلی و ساده به کار برد و موقعیت بهینه آنها را به دست آورد. به همین منظور به عنوان مثالی دیگر، برای حالت دوم همان سازه شکل ۱ با مشخصات داده شده در بالا در نظر گرفته شده

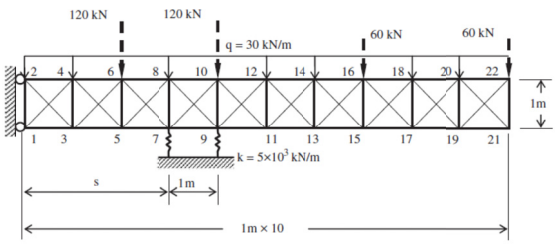
است. تنها تفاوت این حالت استفاده از دو تکیه‌گاه گیردار به جای تکیه‌گاه‌های ساده می باشد. در این حالت موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌های سازه به ازای X/L =۰/۶۲۶۰ و مقدار ممان خمشی بیشینه ۴۴/۳۹۳۸ KNm به دست می آید. در این حالت موقعیت تکیه‌گاه‌ها در X_1=۰/۳۷۴۰m و X_2=۱/۶۲۶۰m نسبت به دو انتهای تیر قرار می گیرد. با توجه به جواب به دست آمده در این حالت، سازه شکل ۱ در عمل به دو تیر یک سرگیردار در دو طرف سازه و یک تیر دو سر گیردار در قسمت میانی تقسیم شده است. در شکل ۳ مقدار بیشینه ممان خمشی به ازای مقادیر مختلف پارامتر X/L برای دو حالت سازه یکی با دو تکیه-گاه ساده و دیگری با دو تکیه‌گاه گیردار نشان داده شده است.



شکل ۳- حداکثر ممان به ازای X/L مختلف برای سازه

همان طور که از شکل ۳ مشاهده می گردد، اگر محل اتفاق افتادن مقدار بیشینه ممان خمشی در ناحیه بین تکیه‌گاه ها و انتهای تیر باشد، مقدار ممان خمشی بیشینه در هر دو حالت استفاده از تکیه‌گاه ساده و گیردار یکسان خواهد بود.

به عنوان مثالی دیگر در اینجا یک قاب به صورت شکل ۴ تحت بارگذاری چندگانه در نظر گرفته شده است.

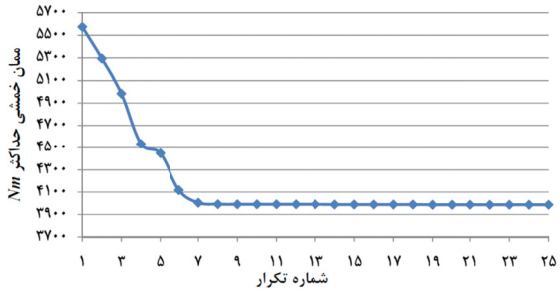


شکل ۴- قاب با دو تکیه‌گاه جانبی کمکی

در حالت اول بارگذاری، یک نیروی گسترده با شدت $q = 30kN/m$ بر روی تمام اعضای بالایی سازه اعمال می گردد. در حالت دوم بارگذاری، چهار نیروی متمرکز بر روی سازه اعمال می گردد. اعضای سازه نیز به دو گروه تقسیم می شوند. اعضای قطری دارای سطح مقطع دایره با قطر ۲۰ میلیمتر و بقیه اعضا دارای سطح مقطع لوله‌ای با قطر خارجی ۸۰ میلیمتر و قطر داخلی ۶۰ میلیمتر می‌باشند. مدول الاستیسیته تمام اعضای سازه نیز برابر با ۲۱۰ Gpa در نظر گرفته شده است. هدف این مثال یافتن موقعیت بهینه دو تکیه‌گاه جانبی با سختی ۵×۱۰۶ N/m بر روی اعضای پایینی سازه برای کاهش ممان خمشی بیشینه سازه می باشد. در اینجا فرض بر این است که فاصله بین دو تکیه‌گاه برابر یک متر می باشد. مقدار بیشینه ممان خمشی در سازه در حالت بدون تکیه‌گاه جانبی برابر با ۸/۶۸ kNm در حالت بارگذاری دو اتفاق می افتد. با اعمال تکیه‌گاه جانبی به سازه و تغییر موقعیت آنها، مقدار و محل اعمال بیشینه ممان خمشی و حالت بارگذاری که منجر به آن می شود، تغییر می کند. در اینجا بر روی وسط اعضای پایینی سازه یک گره در نظر گرفته شده است (بین گره های با شماره فرد در سازه شکل ۴). در صورتی که تکیه‌گاه دقیقاً بر روی گره های با شماره فرد قرار نگیرد، گره وسط عضو به محل تکیه‌گاه منتقل می شود و سپس شرط مرزی مربوط به تکیه‌گاه به سازه اعمال می گردد. در جدول ۲ مقایسه‌ای بین نتایج به دست آمده با استفاده از روش حاضر و روش Evolutionary shift [۲] ارائه شده است. در شکل ۵ نمودار همگرایی رسیدن به موقعیت بهینه برای تکیه‌گاه های سازه نشان داده شده است.

جدول ۲- مقایسه بین نتایج به دست آمده توسط روش های بهینه سازی Evolutionary Shift و گروه ذرات

روش بهینه سازی	S (m)	M_{max} (KNm)
Evolutionary Shift [۲]	۶/۰۰	۳/۹۸
گروه ذرات	۵/۹۹	۳/۹۹



شکل ۵- نمودار همگرایی برای موقعیت بهینه تکیه‌گاه های سازه قابی

۶-نتیجه گیری

مقدار بیشینه ممان خمشی در سازه ها یکی از پارامترهای مهم در طراحی بهینه بسیاری از سازه های مهندسی است. به همین دلیل مهندسان به دنبال راه حلی جهت کاهش مقدار بیشینه ممان خمشی در سازه هستند. با طراحی موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌ها می توان ممان خمشی بیشینه سازه را به طور قابل توجهی کاهش داد. در کارهای گذشته محققین برای یافتن موقعیت بهینه تکیه گاه های سازه از روش های بهینه سازی مرتبه اول که مبتنی بر آنالیز حساسیت می باشند، بهره گرفته اند. با توجه به اینکه مقدار و علامت بیشینه ممان خمشی با تغییر موقعیت تکیه‌گاه‌ها تغییرات شدیدی دارد؛ در روش بهینه سازی بر پایه آنالیز حساسیت به دلیل اینکه باید در مراحل بهینه سازی از مشتق ممان خمشی بیشینه نسبت به محل تکیه‌گاه‌ها بهره برد، این روش علاوه بر اینکه باعث پیچیده‌تر شدن مراحل حل مسئله می شود، به تقریبی از محل بهینه تکیه‌گاه‌ها می رسد. به همین دلیل استفاده از روش بهینه سازی گروه ذرات که در طی مراحل آن نیازی به محاسبه مقدار مشتق تابع هدف نسبت به متغیرهای طراحی نیست، علاوه بر سادگی از دقت بالاتری نیز برخوردار می باشد.

در این مقاله برای رسیدن به نقطه بهینه محلی از متغیرهای طراحی پیوسته برای موقعیت بهینه تکیه‌گاه های سازه استفاده شد. برای این منظور اگر تکیه‌گاه ها بر روی گره های اولیه سازه قرار نمی گرفت، با انتقال نزدیکترین گره به محل تکیه‌گاه و اعمال شرایط مرزی برای این گره به تحلیل مسئله می پردازد. این راهکار علاوه بر اینکه به الگوریتم بهینه سازی قابلیت رسیدن به بهینه محلی را بدون عوض کردن مش بندی کلی سازه می دهد، حجم محاسبات و در نتیجه سرعت رسیدن به جواب را تا حد زیادی افزایش می دهد.

تقدیر و تشکر

نویسنده عهده‌دار مکاتبات از دفتر استعدادهای درخشان دانشگاه سمنان به خاطر حمایت های بی دریغش تشکر و قدردانی می نماید.

مراجع

[1] Imam, M.H., Al-Shihri, M. (1996), “Optimum topology of structural supports”. Intl. J. Comput. Struc., Vol. 61, pp. 147-154.

[2] Wang, D. (2006), “Optimal design of structural support positions for minimizing maximal bending moment”. Finite Elem. Anal. Design, Vol. 43, pp. 95-102.

[3] Wang, D. (2004). Optimization of support position to minimize the maximal deflection of structures”. Intl. J. Solids and Struc., Vol. 41, pp. 7445-7458.

[4] Won, K.M., Park, Y.S. (1998), “Optimal support positions for a structure to maximize its fundamental natural frequency”. J. Sound Vib., Vol. 213, pp. 801-812.

[5] Wang, D., Friswell, M.I., Lei, Y. (2006), “Maximizing the natural frequency of beam with an intermediate elastic support”. J. Sound Vib., Vol. 291, pp. 1229-1238.

[6] Liu-Hu, H.C., Huang, C. (2000), "Derivative of buckling load with respect to support locations". J. Eng. Mech., ASCE, Vol. 126, pp. 559-564.

[7] Marcelin, M.A. (2001), "Genetic search applied to selecting support positions in machining of mechanical parts". Intl. J. Adv. Manufac. Technol., Vol. 17, pp. 344-347.

[8] Perezzan, J.C., Hernandez, S. (2003), "Analytical expressions of sensitivities for shape variables in linear bending systems". Adv. Eng. Software, Vol. 34, pp. 271-278.

[9] Kennedy, J., Eberhart, R. (1995), "Particle swarm optimization". Proc. of IEEE Intl Conf. on Neural Network., 27 Nov.-1 Dec., Australia.

[10] Engeibrecht, P.A. (2007), "Computational Intelligence: An Introduction". 2nd Ed., John Wiley & Sons, N. Y.

[11] Eberhart, R.C., Shi, Y. (2000), "Comparing inertia weights and constriction factors in particle swarm optimization". Proc. of Congress on Evolutionary Computation, July 16-19, USA,.

[12] Zhao, B., Gue, X.C., Cao, Y.J. (2005), "A multiagent-based particle swarm optimization approach for optimal reactive power dispatch". Power System (IEEE Trans.), Vol. 20, No. 2, pp. 1070-1078.

[13] Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L. (2005), "The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics". 6th Ed., Butterworth-Heinemann.

[14] Haftka, R.T., Gurdal, Z. (1992), "Elements of Structural Optimization". Kluwer Academic Publishers.

[15] Zhu, B.F. (1998), "Finite Element Method: Theory and Applications". 2nd Ed., Waterpower Publisher.

OPTIMAL DESIGN OF STRUCTURAL SUPPORT POSITION FOR MINIMIZING MAXIMAL BENDING MOMENT BY PSO WITH MULTI LOADS

A. Ghoddosian[1], M. Sheikhi[2,*]

1. Assistant Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Semnan University
2. PhD Student, Faculty of Mechanical Engineering, Semnan University

*Corresponding Author: mojtabasheikhi@gmail.com

ARTICLE INFO

Keywords:
Support Position,
Maximal Bending Moment Minimization,
Particle Swarm Optimization,
Multi Load.

ABSTRACT

Design of the structural supports has always been practically important in engineering applications. In addition to holding a structure properly, supports can also be utilized to improve the structural performances. In this study, by using finite element method (FEM) and Particle Swarm Optimization (PSO), the optimal support positions of structures is determined to minimize the maximum of bending moment in structure that is subjected to multi loads. PSO is based on the premise that social sharing of information among members of a species offers and evolutionary advantage. As compared to other design optimization methods, PSO is robust, more efficient, requiring fewer number of function evaluations, while leading to better quality of results. Results show that support position optimization can reduce the maximal moment significantly, and deserves more investigation.