طراحی بهینه بستهای مورب ستون مشبک

علیرضا حبیبی

دانشگاه کردستان،دانشکده فنی و مهندسی،سنندج

سعید جعفری متین

دانشگاه کردستان،دانشکده فنی و مهندسی،سنندج

s.jafarimatin@gmail.com

چکیده

اهمیت فراوان مسایل اقتصادی، رقابت‌های شدید در کیفیت محصولات با حفظ هزینه‌ی تولید پایین، محدود بودن منابع طبیعی، نیاز روز افزون بشر به ضرورت استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی در جهان کنونی را نشان می‌دهد. هدف از این تحقیق ارائه یک برنامه رایانه‌ای و ارائه یک روش بهینه سازی برای طراحی بهین بست‌های ستون مشبک می‌باشد. در تحقیق حاضر، کاربرد الگوریتمSQPدرطراحی بهینه‌ی بست‌های مورب ستون مشبک نشان داده شده است. بدین منظور، طراحی بست‌های ستون مشبک به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی فرموله شد و تابع هدف وزن بست‌ها در نظر گرفته شد.قیود طراحی بر مبنای آیین‌نامه سازه‌های فولادی ایران تعریف شده است. پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق شامل ابعاد مقطع بست و زاویه بست با محور افق می‌باشد و با استفاده از الگوریتمSQPدر محیط برنامه نویسیMATLABو روابط حاکم آیین‌نامه‌ای و فرموله کردن مسئله مقطع بست‌ها بهینه شد. سرانجام کاربرد روش ارائه شده در این تحقیق با استفاده از یک حل عددی نشان داده شده است و نتایج بهینه حاصل از آن با نتایج حاصل از طراحی کلاسیک مقایسه شده و نشان داده شد که روش پیشنهادی به آسانی می‌تواند برای بدست آوردن طرح‌های اقتصادی اعمال شود و کاربردی باشد.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی،ستون مشبک،بست مورب، الگوریتمSQP

مقدمه

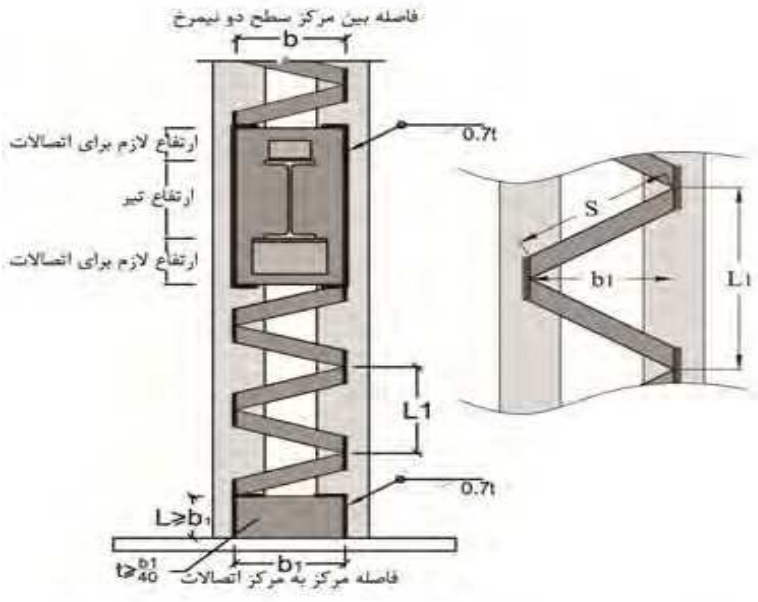
در طراحی‌های کلاسیک با توجه به پارامترهای فراوان موثر میتوان تعداد بیشماری طرح مورد قبول را با سعی و خطاهای مکرر بدست آورد که البته چنانچه طراح از تجربه‌ی کافی جهت انتخاب مقادیر اولیه‌ی متغیرها برخوردار نباشد ممکن است بسیار مشکل و وقتگیر باشد. اما آنچه قابل بحث است این است که دربین ترکیبهای مختلف پارامترهای موثر درطرحهای مورد قبول، کدام ترکیب از لحاظ اقتصادی، بهین است درهیچ یک از آئین-نامه‌های موجود، ضابطه‌ای برای انتخاب پارامترهای موثر به گونه‌ای که طرحی قابل قبول و در عین حال بهینه بدست آید، داده نشده است و این موضوع لزوم استفاده از شیوه‌های نوینی در طراحی مثل استفاده از تکنیکهای بهینه‌سازی را روشن‌تر می‌کند.

در مورد کارهای انجام شده برای بهبود الگوریتم SQPمی‌توان به تحقیقات زنگژین وی و همکاران اشاره کرد، آنها یک الگوریتم اصلاح شده SQP ارائه دادند که همگرایی سریع‌تری داشت[۱].جی‌آنگتاو و همکاران یک روش جدید در الگوریتم SQP ارائه دادند که در واقع زیر مسئله QPرا اصلاح کرده و یک جهت کاهشی را پیدا می‌کند، همچنین در مواقعی که نقطه اولیه غیر معقول باشد سرعت همگرایی همچنان زیاد است[۲]. در مورد تحقیقات صورت گرفته در مورد بهینه سازی ستونهای فلزی می‌توان تحقیقات لیو و همکاران را نام برد که با ارائه یک روش جدید و استفاده از الگوریتم بیزی و کوچک کردن مسئله به زیر شاخه‌های مختلف، متغیرها را کاهش داد. با توجه به نتایج به دست آمده این روش برای طراحی بهینه مقاطع نورد سرد شده بسیار مناسب می‌باشد و مقاطعCو Sشکل بهترین مقاطع برای مقابله با کمانش می‌باشند[۳].جای هونگ لی و همکاران در مطالعه خود برای بهینه سازی شکل مقاطع فولادی از الگوریتم میکروژنتیک استفاده کردند. آنها بهترین مقطع برای تحمل خمش و فشار مقطع C شکل را پیشنهاد دادند[۴]. جی ژن لنگ و همکاران با استفاده از سه روش, بهینه ترین شکل مقطع را برای ستون فولادی نورد سرد شده مورد بررسی قرار دادند. یک روش بر اساس گرادیان (روش تندترین کاهش گرادیان) و دو روش جستجوی تصادفی (الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تبرید شبیه سازی شده) و در نهایت مقطع S شکل را پیشنهاد دادند[۵]. حبیبی و خالدی در ۱۳۹۰ در مورد بهینه سازی بستهای موازی ستون مشبک تحقیقی انجام دادند، آنها با استفاده از الگوریتم SQPتوانستند وزن تسمه‌ها را به مقدار قابل توجهی کاهش دهند[۶].

هدفازاینتحقیقارائهیک روش بهینهسازی جهتطراحی بهین بستهای ستون مشبک میباشد. ابتدابابررسی پارامترهای مهمدرطراحی اینگونه ستونها،متغیرهای طراحی تعریفمی‌شوند،سپسباتعریف سطح مقطع و زاویه امتداد بست نسبت به محور عرضی ستون به عنوانتابعهدفومحدودیت‌های طراحی به عنوان قیود طراحی،طراحی ستون بهعنوانیک مسئلهبهینهسازی فرمولهمی‌شود و با مینیموم کردن تابع هدف وزن سازه کاهش می‌یابد که موجب کاهش هزینه می‌شود.

۱. طراحی سازه

در طراحی ستون باید شکل مقطع به گونه ای انتخاب شود که بیشترین شعاع ژیراسیون را داشته باشد تا در نتیجه تنش مجاز افزایش یابد. بنابراین در ستونهایی که دارای طول زیاد هستند بایستی تمهیداتی اندیشید که تا حد امکان ضریب لاغری کاهش یابد در این صورت در مواردی که احتیاج است تا شعاع ژیراسیون نسبت به مقطع نورد شده موجود افزایش یابد و یا شعاع ژیراسیون مربوط به دو محور اصلی مقطع به گونه‌ای باشد که هر



کدام با طول موثر خود لاغری نسبتا یکسانی را برای ستون فراهم کنند و همچنین مواردی که سطح مقطع نیمرخهای نورد شده موجود جوابگوی سطح لازم برای تحمل نیروی فشاری را نداشته باشند لزوم استفاده از

مقاطع مرکب یا مشبک نمایان می شود[۷].برای اتصال ستونها عموما سه روش وجود دارد، اتصال سراسری با جوش، استفاده از بستهای موازی و استفاده از بستهای مورب.بستهای مورب را مانند عضو فشاری طراحی می-کنندکه در شکل (۱) جزئیات این نوع اتصال نشان داده شده است،بر این اساس طبق مبحث ۱۰ مقررات ملی[۸] در طراحی اینگونه ستونها داریم:

شکل ۱:ستون مشبک با بستهای مورب تکی

لاغری معادل نسبت به محور عمود بر صفحه بستهای مورب با فرمول (۱) محاسبه می‌شود.

$$\lambda_{ye} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2} \qquad (1)$$

λ_y برابر است با لاغریکلی عضو فشاری نسبت به محور عمود بر صفحه بستهای مورب و λ_1 برابر است با لاغری موضعی برای بستهای مورب که با فرمول (۲) محاسبه می‌شود.

$$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{A}{2A_d}\cdot\frac{S^3}{L_1 b^2}} \quad (2)$$

A برابر است با سطح مقطع کلی ستون، A_d سطح مقطع بست، S طول بست، L_1 فاصله آزاد بین دو بست و b فاصله مرکز به مرکز ستون می‌باشد.

طبق توصیه مبحث ۱۰ داریم:

C_c لاغری مرزی بین کمانش ارتجاعی و غیر ارتجاعی که از رابطه (۳) بدست میاید.

$$C_c = \sqrt{\frac{2E\pi^2}{Fy}} = 131 \quad (3)$$

E مدول الاستیسیته و F_y تنش تسلیم فولاد می‌باشد.

فاصله بستها از یکدیگر باید به اندازه‌ای باشد که ضریب لاغری تک نیمرخ عضو فشاری (λ_{y1}) در قسمتی که بین دو بست متوالی قرار داردباید شرایط زیر را داشته باشد.

$$\lambda_{y1} = \frac{L_1}{r_{1min}} \leq \frac{3}{4}\lambda_{max} \quad (4)$$

L_1 فاصله آزاد بین دو بست و r_{1min} حداقل شعاع ژیراسیون تک پروفیل می‌باشد.

$$\lambda_{max} = \max\{\lambda_x, \lambda_{ye}\} \qquad (5)$$

λ_x ضریب لاغری ستون حول محور x بوده.

بر اساس محدودیت مقررات ملی مبحث ۱۰ ایران[۸] ضریب لاغری بستها (λ_b) نباید از ۱۴۰ بیشتر باشد، همچنین همان مرجع مشخص می‌کند که زاویه محور بست با افق از ۳۰ درجه تجاوز نکند.

$$\lambda_b = \frac{S}{r_{min}} \leq ۱۴۰ \qquad (۶)$$

λ_b ضریب لاغری بست مورب تکی است.

$$\beta \leq \theta \qquad (۷)$$

β زاویه محور بست با افق و θ برابر ۳۰ درجه در نظر گرفته می‌شود.

$$\frac{b}{t} \leq ۴۰ \qquad (۸)$$

تنش مجاز از رابطه (۹) زیر بدست می‌آید.

$$\begin{cases} if: \lambda_b \geq ۱۳۱ \ then & F_a = \frac{۱۰۵*۱۰^۴}{\lambda^۲} \\ if: \lambda_b \leq ۱۳۱ \ then & F_a = \frac{۱}{F.S}\left[۱ - .۵\left(\frac{\lambda_b}{C_c}\right)^۲\right] F_y \\ & F.S = ۱.۶۷ + ۰.۳۷۵\left(\frac{\lambda_b}{C_c}\right) - ۰.۱۲۵\left(\frac{\lambda_b}{C_c}\right)^۳ \end{cases} \qquad (۹)$$

۲. مسئله بهینه سازی

یک مسئله بهینه سازی دارای یک تابع هدف، قیود مساوی و قیود نامساوی میباشد که هدف از حل آن بهینه کردن بردار متغییرهای تابع هدف میباشد که بسته به نوع مسئله موجب کمینه یا بیشینه شدن تابع هدف میشود.

فرم کلی یک مسئله بهینه سازی در رابطه‌ی (۱۰) آورده شده است.

$$\begin{cases} Minimize: f_{(x)} = f_{(x_۱, x_۲, \ldots, x_n)} \\ subject\ to: \\ \quad h_{i(x)} = ۰ \qquad i = ۱\ to\ p \\ \quad g_{j(x)} \leq ۰ \qquad j = ۱\ to\ m \end{cases} \qquad (۱۰)$$

که در آن $f_{(x)}$ تابع هدف، $h_{i(x)}$ قیود مساوی و $g_{j(x)}$ قیود نامساوی می‌باشد.در یک مسئله بهینه سازی حل دقیق و موثر مسئله نه تنها به اندازه مسئله از نظر تعداد قیود و متغیرهای طراحی بستگی دارد بلکه به ویژگی تابع هدف و قیود نیز بستگی دارد.در بهینه سازی مقید هدف کلی تبدیل مسئله به یک مسئله فرعی آسانتر می-باشد که حل آن می‌تواند به عنوان اساس یک فرایند تکراری بکار رود.در این روش مسئله مقید با حل متوالی چندین مسئله نا مقید که در نهایت به مسئله مقید همگرا می‌شود حل می‌گردد.چنین روشهایی امروزه ناکارآمد در نظر گرفته می‌شود و روشهایی که بر حل معادلات KTتاکید دارند، جایگزین آنها شده‌اند.معادلاتKTاساس بسیاری از الگوریتم‌های برنامه‌ریزی غیرخطی از جمله روشهای شبه نیوتنی را تشکیل می‌دهد این روشها با بکار بردن اطلاعات درجه دوم همگرایی را تضمین می‌کنند و عمدتا به روشهایSQP موسومند.در تحقیق حاضر این روش برای حل مسئله مورد نظر بکار گرفته شده است.در هر تکرار اصلی روشSQPتقریبی از هسیان تابع لاگرانژ با استفاده از یک روش بروز آورنده شبه نیوتنی بدست می‌آورد سپس این تقریب برای تولید یک مسئله QPکه هدف از آن یافتن جهتی برای جستجوی خطی می‌باشد، به کار می‌رود[۹].

قیود مسئله در واقع محدودیت‌های طراحی را مشخص می‌کنند.در این تحقیق با در نظر گرفتن $x_۱$به عنوان ارتفاع بست، $x_۲$ضخامت بست و $x_۳$ زاویه افق با محور بست متغیرهای طراحی معرفی می‌شوند، قیود طراحی بر این اساس برابر است با مجموعه روابط ۱۱

$$\lambda_۱ = \pi \sqrt{\frac{A}{x_۱ x_۲} \cdot \frac{b}{(\cos x_۳)^۳ L_۱}}$$

$$\lambda_{ye} = \sqrt{\lambda_y^۲ + \lambda_۱^۲}$$

$$\lambda_{y۱} = \frac{۲b \tan x_۳}{r_{۱min}} \leq \frac{۳}{۴}\lambda_{max}\,, \qquad \lambda_{max} = \max\{\lambda_x, \lambda_{ye}\}$$

$$\frac{b\sqrt{۱۲}}{t \cos\beta} \leq ۱۴۰$$

$$x_۳ \leq ۰.۵۲۳rad$$

$$\frac{b}{x_۲} \leq ۴۰$$

$$if: \frac{b\sqrt{۱۲}}{t\cos x_۳} \geq ۱۳۱ \ then \ \frac{.۰۲P}{۲x_۲ bsin\alpha} - \frac{۲۵\times ۱۰^۷}{L^۲ x_۲^۲} \leq ۰$$

$$if: \frac{b\sqrt{۱۲}}{t\cos x_۳} \leq ۱۳۱ \ then \ \frac{.۰۲P}{۲x_۲ bsin\alpha} - \frac{۲۴۰۰(۱-.۴۷\frac{L^۲}{x_۲^۳})}{\frac{۵}{۳}+\frac{۳}{۸}.\frac{L\sqrt{۱۲}}{x_۲}-\frac{۱}{۸}(\frac{L\sqrt{۱۲}}{x_۲ ۱۳۱})^۳} \leq ۰ \quad (۱۱)$$

تابع هدف نیز با توجه به نتایج بدست آمده به صورت رابطه ۱۲ در نظر گرفته می‌شود که در واقع مینیموم کردن وزن بستهاهدف می‌باشد.

$$F_{(x)} = \frac{۲lx_۱x_۲}{\tan x_۳ \cos x_۳} \qquad (۱۲)$$

γ وزن مخصوص فولاد می‌باشد و l طول ستون می‌باشد.

۳. مثال عددی

برای مقایسه، ستونی به طول ۷ متر که نیروی محوری ۱۲۰ تن را تحمل می‌کند با استفاده از زوج INPبه روش کلاسیک طراحی می‌شود[۷] و نتیجه‌ی آن با نتایج حاصل از بهینه سازی مقایسه می‌شود.

$$K_x = K_y = ۱.۳$$

همان گونه که در جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود روش مورد استفاده وزن بستها را به مقدار ۲۲,۸ درصد کاهش داده است. حال اگر قید مربوط به محدودیت زاویه آزاد شود می‌توان وزن بستها را به میزان ۳۰,۷ درصد کاهش داد(جدول شماره ۲). در صورت آزاد گذاشتن مقدار قید زاویه با توجه به نتایج بدست آمده از خروجی برنامه مشاهده می‌شود که زاویه بهینه ۴۵ درجه می‌باشد که آیین‌نامه زاویه را به ۳۰ درجه نسبت به افق محدود می-

کند.بهترین مقطع برای بستهای مورب ستون مشبک، مقطع مربعی می‌باشد که عملا مورد استفاده قرار نمی-گیرد.در این حالت اگر بتوان طول جوش مورد نیاز را تامین کرد بهترین مقطع،مقطع مربعی است که در بارگذاریهای معمولی و تعداد طبقات کم اگر برش کم باشد جوابگو می‌باشد.

جدول ۱:مقادیر بدست آمده از طراحی کلاسیک و بهینه

وزن بستها	b		t	h	
۳۶,۹۲	۲۱,۸	۰,۵۲۳	۰,۸	۲,۱	کلاسیک
۲۸,۴۸	۲۱,۷۶۷	۰,۵۲۳	۱,۱۳۸	۱,۱۳۸	بهینه

جدول ۲: مقادیر بدست آمده از طراحی کلاسیک و طراحی بهینه بدون قید زاویه

وزن بستها	b		t	h	
۳۶,۹۲	۲۱,۸	۰,۵۲۳	۰,۸	۲,۱	کلاسیک
۲۵,۵۸	۲۱,۷۶۷	۰,۷۳۶۳	۱,۲۵	۱,۲۵	بهینه

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک روش طراحی برای بهینه‌سازی بستهای ستون مشبک بر اساس الگوریتم SQP ارائه شد. به این منظور ابتدا مسئله طراحی بهینه ستون مشبک در قالب یک مدل بهینه‌سازی، فرمول‌بندی گردید که در آن حجم یا وزن بستهای ستون مشبک به عنوان تابع هدف و محدودیت‌های آیین‌نامه‌ایی به عنوان قیود طراحی در نظر گرفته شدند. سپس فرآیند طراحی بر اساس الگوریتم SQP در نرم‌افزار MATLAB ارائه گردید. برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی در تحقیق حاضر، مثال عددی شامل ستونی از زوج INP به طول ۷ متر که نیروی محوری ۱۲۰ تن را تحمل می‌کرد مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب نشان داده شد که روش پیشنهادی توانایی طراحی بهین بستهای ستون مشبک را دارا می‌باشد و به طرح‌های اقتصادی‌تری ضمن برآورده نمودن کلیه قیود طراحی منتهی می‌شود.

۵. مراجع

[1] Z. Wei, L. Liu, and S. Yao, 8002, "The superlinear convergence of a new quasi-Newton-SQP method for constrained optimization," *Applied Mathematics and Computation,* vol. 191, pp. 191-201.

[8] J. Mo, K. Zhang, and Z. Wei, 8001, "A variant of SQP method for inequality constrained optimization and its global convergence," *Journal of Computational and Applied Mathematics,* vol. 191, pp. 810-821.

[3] H. Liu, T. Igusa, and B. W. Schafer, 8002, "Knowledge-based global optimization of cold-formed steel columns," *Thin-Walled Structures,* vol. 28, pp. 127-201.

[2] J. Lee, S.-M. Kim, and H. Seon Park, 8001, "Optimum design of cold-formed steel columns by using micro genetic algorithms," *Thin-Walled Structures,* vol. 22, pp. 978-910.

[7] J. Leng, J. K. Guest, and B .W. Schafer, 8011, "Shape optimization of cold-formed steel columns," *Thin-Walled Structures,* vol. 29, pp. 1298-1703.

]1[حبیبی، علیرضا و نیما خالدی،)1390(، طراحی بهینه ستونهای مشبک با بستهای موازی، سومین همایش ملی عمران شهری، سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج.

]1[ازهری، مجتبی؛میرقادری، سید رسول.؛)1323(،"طراحی سازههای فولادی"، انتشارات ارکان.

]2[مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث دهم،)1321(،"طرح و اجرای ساختمان¬های فولادی"، نشر توسعه ایران.

]9[ابوالبشری؛محمد حسین.،)1323(،"مقدمهای بر طراحی بهین"، دانشگاه فردوسی، مشهد.