دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج

سومین کنفرانس ملی عمران شهری
3rd National Conference on
Urban Development

طراحی بهینه ستونهای مشبک با بستهای موازی

علیرضا حبیبی[1] نیما خالدی [2]

1. استادیار گروه عمران دانشگاه کردستان

2. دانشجوی کارشناسی ارشد عمران – سازه ، دانشگاه کردستان

khaledy83@gmail.com

چکیده

در طراحی ستونهای مشبک ، طراحی بر مبنای آزمون و خطا و کنترل روابط وجود دارد . بنا براین ممکن است طراحی گاهی خیلی وقتگیر باشد .علاوه بر آن همین امر ممکن است منجر به طرحی غیر اقتصادی گردد. در این مقاله با استفاده از اصول بهینه سازی قصد داریم روشی را ارائه کنیم که بدون احتیاج به آزمون و خطاهای مکرر ، ستونهای جفت نیمرخ را در کمترین زمان و با کمترین هزینه طراحی کنیم.

کلمات کلیدی: ستون مشبک ، بهینه سازی ، بست های موازی ، SQP

مقدمه

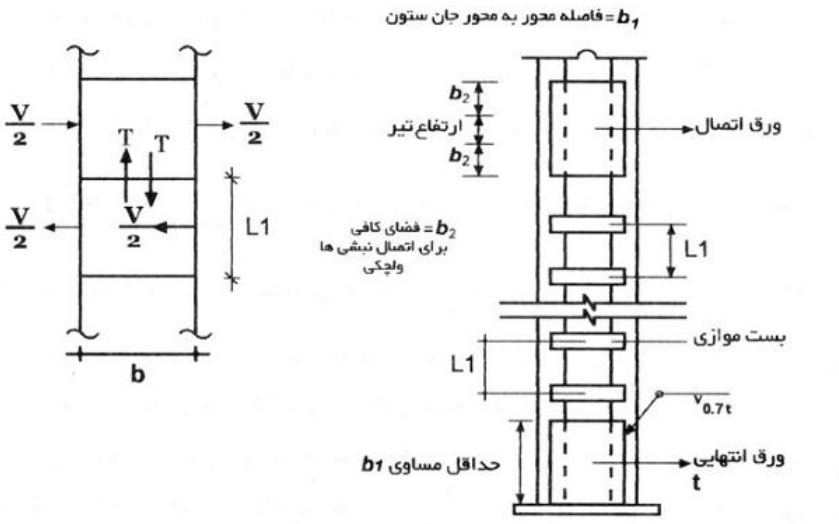
همانطور که می دانیم یکی از انواع ستونهای فولادی ستون مشبک است. که گاهی هم با نامهایی چون ستون دوبل یا جفت نیمرخ هم از آنها یاد می شود. یکی از دلایل مهم استفاده از این نوع ستونها بحث مقرون به صرفه تر بودن در مقابل ستونهای IPB است. البته همیشه از ستونهای IPB مقرون به صرفه تر نخواهند بود و این امر به طول ستون ، مقدار بارگذاری ، شرایط تکیه گاهی و... بستگی دارد که البته در تحقیقی دیگر می تواند مورد بررسی قرار گیرد.ستونهای جفت نیمرخ در دو نوع طراحی می شوند. یکی با

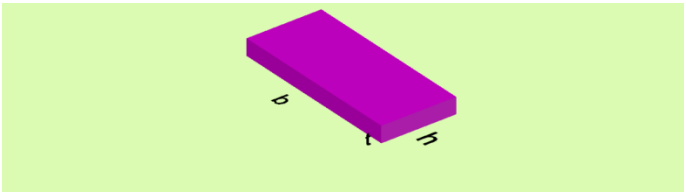
بستهای مورب و دیگری با بستهای موازی.با توجه به وقتگیر بودن و عدم دقت لازم در حل دستی،در نتیجه صرف زمان و هزینه اضافی، لزوم استفاده از یک الگوریتم بهینه سازی و طراحی بهینه احساس می شود .

در این مقاله سعی داریم با استفاده از روشهای بهینه سازی روشی را ارائه کنیم تا با یک بار اجرای الگوریتم با استفاده از نرم افزار Matlab به جوابی برسیم که تمامی قیود فنی و اجرایی را ارضا می کند و کمترین هزینه لازم را داراست .و دیگر نیازی به انجام مکرر آزمون و خطاهای دستی نیست.

طراحی سازه

در طراحی ستونها ضوابط آیین نامه ای طبق مبحث 10 مقررات ملی ساختمان به صورت زیر است:





لاغری ستون مشبک $\lambda = max\begin{cases}\lambda_{x\,max}\\ \lambda_{y\,ef}\end{cases}$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \frac{6440}{\sqrt{F_y}}$$

برای فولاد نرمه C_c برابر 131 خواهد بود.

$$\lambda_{yef} = \sqrt{{\lambda_y}^2 + {\lambda_1}^2}$$

$$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_1} \leq \begin{cases} 40 \\ \frac{2}{3}\lambda_{y\,\text{کل}} \end{cases}$$

If $\lambda < C_c \rightarrow Fa = \frac{1}{F.S}\left[1 - \frac{1}{2}(\frac{\lambda}{C_c})^2\right] F_y$

$$F.S = 1.67 + 0.375\left(\frac{\lambda}{C_c}\right) - 0.125\left(\frac{\lambda}{C_c}\right)^3$$

If $\lambda > C_c \rightarrow Fa = \frac{105*10^5}{\lambda^2}$

If $\lambda = C_c \rightarrow Fa = 0.6\,F_y$

$$t \geq \frac{b}{40}$$

$$\begin{cases} b = x_1 \\ h = x_2 \\ t = x_3 \\ L_1 = x_4 \\ b_1 = x_5 \end{cases}$$

برش ستون $V = 0.02P$

خمش در قید $M = \frac{VL_1}{4} \rightarrow \frac{M}{S} \leq 0.6F_y \rightarrow \frac{L_1}{th^2} \leq \frac{F_y}{0.05P}$

برش در قید $T = \frac{VL_1}{2b} \rightarrow \frac{T}{A} * 1.5 \leq F_v = 0.4F_y \rightarrow \frac{L_1}{b_1 th} \leq \frac{26.67F_y}{P}$

همچنین محدودیت های زیر هم اضافه می گردند:

$\lambda_x^2 \leq \lambda_1^2 + \lambda_y^2 \rightarrow \quad L_1^2 \leq \left(\lambda_x^2 - \lambda_y^2\right) * r_1^2$

محدودیت اجرایی $b \leq b_1 + b_f$

محدودیت اجرایی $b \geq b_1$

بهینه سازی

در مسائل بهینه سازی همیشه یک تابع هدف وجود دارد و تعدادی قیود خطی ، غیر خطی و ... . تابع هدف می تواند مواردی از قبیل تغییر مکان ، ارتعاش، وزن، هزینه، سود و... باشد. که بسته به نوع مسئله باید تابع هدف را مینیمم یا ماکزیموم نمود. در این مقاله تابع هدف ما تابع هزینه انتخاب می شود و آن را مینیمم می کنیم.

بهینه سازی بر مبنای الگوریتم SQP یا Sequential Quadratic Programming صورت می گیرد.در هر چرخه یک زیر مسئله SQP حل می شود و بدین ترتیب در هر چرخه یک گام به طرح بهینه نزدیک می شویم.برای آگاهی بیشتر از جزئیات این روش می توانید به مرجع [4] مراجعه نمایید.

تابع هزینه را به صورت زیر تعریف می کنیم:

$$\text{cost}=c_1\gamma(As_1L+\sum As_2L_t)+c_2\left(b-b_1+\frac{b_f}{2}+h\right)*2*2=\gamma(As_1L+nbht)+c_2\left(b-b_1+\frac{b_f}{2}+h\right)*2$$

در واقع تابع هزینه ما مشتمل است بر هزینه تهیه جفت نیمرخ **IPE** ، هزینه بستها(ورقها) و هزینه جوشکاری.

c1 هزینه هر کیلوگرم فولاد

c2 هزینه آماده سازی و جوشکاری ورقها به ازای هر کیلوگوم فولاد ورقها

از آنجایی که مطابق فهرست بها ، هزینه جوشکاری هم تابعی از وزن فولاد مصرفی است، بنابراین برای مینیمم سازی کافی است فقط وزن ورقها را مینیمم کنیم، هزینه جوشکاری خود به خود مینیموم می گردد.

γ =وزن مخصوص فولاد

As_1 =سطح مقطع ستون دوبل

L = طول ستون

As_2 = سطح مقطع تسمه ها

n = تعداد قید ها(تسمه ها)

b =طول تسمه

h =عرض تسمه

t =ضخامت تسمهS

در اینجا وزن بستها را مینیمم می کنیم که خود به خود باعث مینیمم شدن هزینه می شود :

$$\boldsymbol{Min: F = \left[\left(\left(\left(\frac{L-x_5}{x_4}\right)+1\right)x_1x_2x_3\right)+x_5*x_1*x_3\right]*2*7850*10^{-6}}$$

st:

$$\frac{x_1}{x_3} \le 40 \qquad (g_1)$$

$$\frac{x_4}{r_1} \le 40 \qquad (g_2)$$

$$\frac{x_4}{r_1} \le \frac{2}{3}\lambda_y \qquad (g_3)$$

$$\frac{x_4}{x_3x_2^2} \le \frac{F_y}{0.05P} \qquad (g_4)$$

$$\frac{x_4}{x_5x_3x_2} \le \frac{26.67F_y}{P} \qquad (g_5)$$

$$x_4^2 \le \left(\lambda_x^2-\lambda_y^2\right)*r_1^2 \qquad (g_6)$$

$$\mathrm{x}_1 \le x_5 + b_f \qquad (g_7)$$

$$x_5 \le \mathrm{x}_1 \qquad (g_8)$$

$$-x_i \le 0 \qquad (g_9)$$

$$Lower\ Bound \le x_1, x_2, x_3, x_4\ , x_5 \le Upper\ Bound$$

b_f عرض بال پروفیل IPE است.

روشی که در اینجا برای بهینه سازی مورد استفاده قرار می گیرد بدین صورت است که ، از آنجایی که فاصله محور به محور ستونها جزء مجهولات و متغیرهاست، طرح ستونها بر اساس لاغری حول x انجام می گیرد و بدین منظور هم یکی از قید ها ایجاب می کند که لاغری موثر در جهت yکوچکتر و مساوی از لاغری حول xباشد. بعد از طرح ستونها ، وارد الگوریتم بهینه سازی می شویم و بست های موازی را به صورت بهینه طرح می کنیم.

بررسی موردی – ستون AB دو سر مفصل در دوجهت ، بار 29 تن را تحمل می کند. طول ستون برابر 7 متر است.

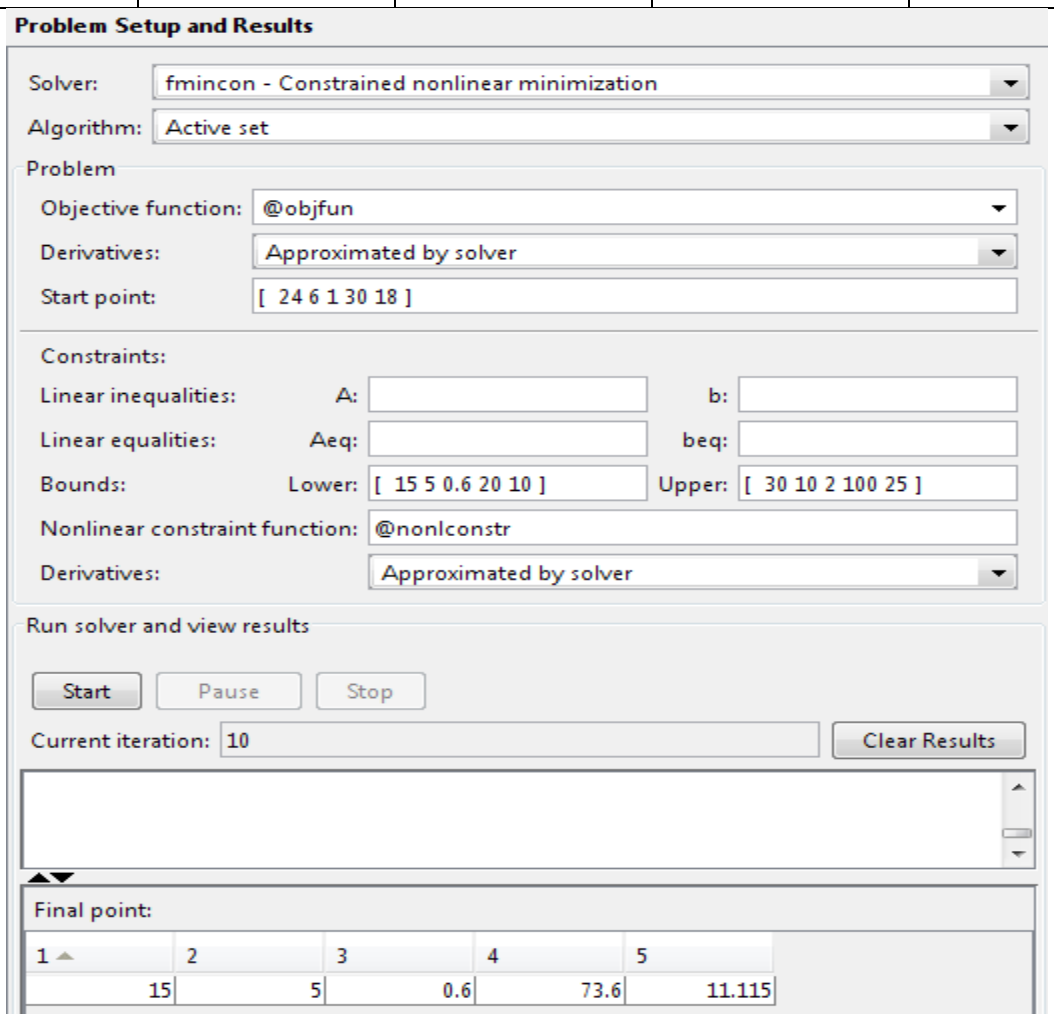
در طرح دوبل IPE مقطع مناسب 2IPE16 خواهد بود:

$$\lambda x = \frac{kl}{r_x} = 107 \rightarrow C_c = 131 \rightarrow Fa = 781\frac{kg}{cm^2}$$

$$fa = \frac{P}{A} = 721$$

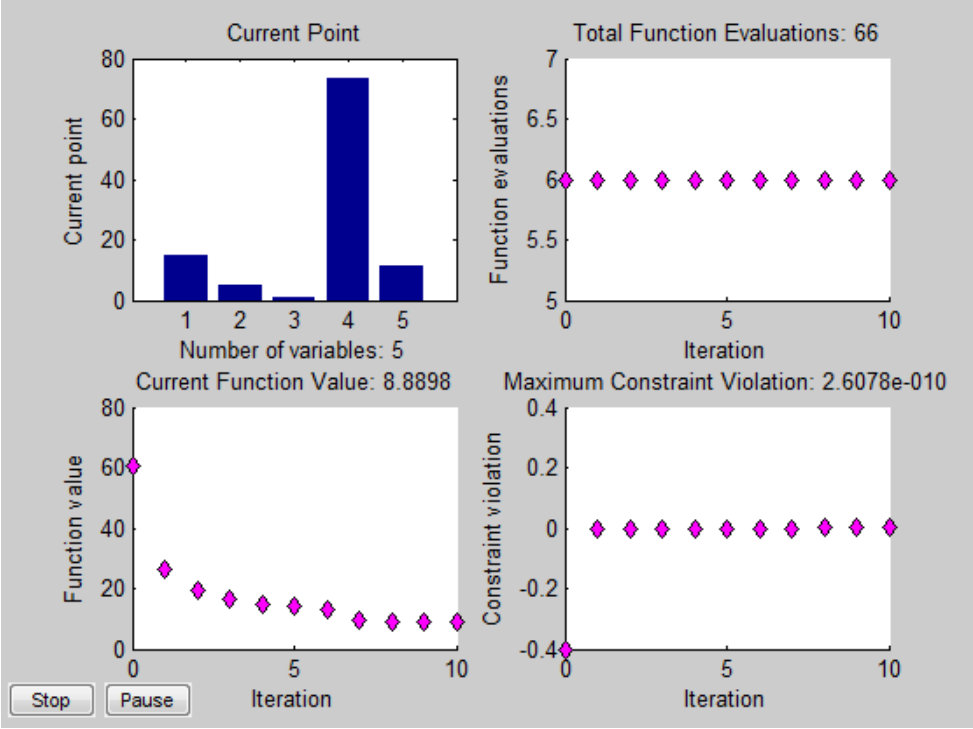
اکنون با استفاده از Optimization Toolbox در نرم افزار Matlab به صورت شکل زیر طراحی را انجام می دهیم (ابعاد به سانتی متر هستند)

b	h	T	L_1	b_1
15	5	0.6	73.6	11.115




```
function f = objfun(x)
L=700;


f =((((L-x(5))/x(4))+1)*x(1)*x(2)*x(3)+x(5)*x(1)*x(3))*2*(10^-6)*7850;
```

```
function [c,ceq] = nonlconstr(x)

Fy=2400;
r1=1.84;
P=29000;
lany=91;%landa y
lanx=107;
bf=8;

c=[x(1)/x(3)-40;
x(4)/r1-40;
x(4)/r1-(2/3)*lany;
x(4)/(x(3)*x(2)^2)-Fy/0.05*P;
x(4)/(x(5)*x(3)*x(2))-(26.67*Fy)/P;
x(4)^2-(lanx^2-lany^2)*r1^2;
x(1)-x(5)-bf;
x(5)-x(1)];


ceq=[];
```



مقایسه طرح بهینه فوق با یک طرح سنتی :

	b	h	T	L_1	b_1	وزن تسمه ها
بهینه	15	5	0.6	73.6	11.115	8.89 kg
کلاسیک	20	8	0.8	70	15	44 kg

همانطور که مشاهده می شود در این مثال حدود 35.11کیلو گرم وزن ستون کم شده است،یعنی چیزی حدود 20 درصد صرفه اقتصادی ایجاد شده است. همچنین با استفاده از این الگوریتم به میزان زیادی در زمان صرفه جویی کرده ایم. این نشان می دهد که روش ما موثر بوده است.

همچنین باید یادآوری کرد که طرح کلاسیک بر مبنای آزمون و خطا قرار دارد و ممکن است یک طرح کلاسیک بسیار نزدیک به طرح بهینه باشد و یا بسیار دور تر. مثلا در مثال فوق اختلاف هزینه 20 درصد شد ، در طرحی دیگر ممکن این اختلاف هزینه بیشتر یا کمتر باشد.

نتیجه گیری

در این تحقیق یک روش برای طراحی بهینه ستونهای مشبک مورد بررسی قرار گرفت و این روش به صورت زیر پیشنهاد می گردد:

1. ابتدا با توجه به بار ستون، نیمرخ دوبل را بر اساس لاغری حول محور x (محور قوی) طرح کنید تا پروفیلها جزو معلومات مسئله باشند.
2. تابع هدف ، قیود نامساوی غیر خطی ، قیود نامساوی خطی ، حد پایین و بالای طراحی و نقطه شروع را مطابق آنچه در این مقاله ارائه شد مشخص نمایید و وارد الگوریتم SQPکنید.(مطابق مثال حل شده وارد نرم افزار Matlab کنید)
3. مسئله بهینه سازی را با توجه به تابع هدف و قیودی که تعریف شده حل کنید. در این مقاله از نرم افزار Matlab برای حل مسئله بهینه سازی استفاده شد.

مراجع

1.مقررات ملی ساختمان ، مبحث دهم ، طرح و اجرای ساختمانهای فولادی 1384

2. هدایت نسب ارسطو ،تحلیل و تشریح مسائل سازه های فولادی

3. حبیبی علیرضا ، مهدیلو ترکمانی حامد، طراحی بهینه قابهای شیبدارفولادی، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران ،1388 دانشگاه شیراز

4. Jasbir S.Arora 2004,Introduction to optimum design ,ELSEVIER Academic press