

بررسی تاثیر عملکرد تنش پوسته‌ها با استفاده از تئوری فنر معادل در بهینه سازی سوله‌های قوسی

افسانه شاه پوری ارانی^۱، بهروز احمدی ندوشن^{۲*}، حسینعلی رحیمی بندرآبادی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

چکیده

در این پژوهش تاثیر ورق پوشش سقف و عملکرد تنش پوسته‌ها در طراحی بهینه سوله‌های قوسی مورد بررسی قرار می‌گیرد. طبق عملکرد تنش پوسته‌ها، بخشی از نیروی افقی وارد بر سازه، توسط دیافراگم و بخشی توسط قاب تحمل می‌شود و قاب‌ها برای نیروی کمتر طراحی می‌گردند در نتیجه این عملکرد نقش اساسی در طراحی بهینه سوله‌ها خواهد داشت. تئوری فنر معادل، روش مورد استفاده برای طراحی این عملکرد در این پژوهش می‌باشد. جهت طراحی سریع و آسان سوله‌ها، با برقراری ارتباط بین نرم افزارهای Sap2000 و Matlab و استفاده از الگوریتم ژنتیک، نرم افزار طراحی سوله فراهم شده است که این نرم افزار با استفاده از ابعاد سوله و شرایط محیطی محل استقرار سوله، به هر دو روش تنش مجاز و عملکرد تنش پوسته‌ها به طراحی سازه با بهترین مقاطع می‌پردازد. توسط این نرم افزار هفت سوله قوسی با ابعاد دهانه، طول، تعداد قاب و ارتفاع ستون متفاوت با ضخامت پوشش سقف ۵/۰ و ۷/۰ میلی متر طراحی و عملکرد تنش پوسته‌ها در آن‌ها بررسی می‌شود. تابع هدف وزن سازه است و مسئله شامل ۸ متغیر طراحی می‌باشد. بررسی نتایج این مقاله نشان می‌دهد که عملکرد تنش پوسته‌ها بیش از ۲۰ درصد در کاهش وزن تاثیر دارد و میزان این تاثیر به ابعاد سازه وابسته است به طوریکه افزایش ارتفاع ستون‌ها حدود ۱۰ درصد تاثیر این عملکرد را افزایش می‌دهد و افزایش دهانه سوله از تاثیر عملکرد تنش پوسته-ای بیش از ۵ درصد می‌کاهد. افزایش تعداد قاب‌ها و تغییر طول سازه تاثیری ناچیز و در حدود ۱ یا ۲ درصد دارد. تغییر ضخامت ورق پوشش به اندازه ۲/۰ میلی‌متر، حدود ۳ درصد در کاهش بیشتر وزن موثر خواهد بود.

کلمات کلیدی: بهینه سازی، سوله قوسی، عملکرد تنش پوسته‌ها، تئوری فنر معادل، الگوریتم ژنتیک

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
10.22065/JSCE.2017.91588.1261	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
doi: 10.22065/JSCE.2017.91588.1261	۱۳۹۸/۰۴/۰۱	۱۳۹۶/۰۹/۲۲	۱۳۹۶/۰۹/۲۲	۱۳۹۶/۰۹/۰۳	۱۳۹۶/۰۴/۲۴
بهروز احمدی ندوشن				*نویسنده مسئول:	
behrooz.ahmadi@yazd.ac.ir				پست الکترونیکی:	

Optimal Design of Curved Portal Frame with Consideration of Stressed Skin Action Using the Equivalent Spring Theory

Afsaneh Shahpouri Arani¹, Behrouz Ahmadi-Nedushan^{2*}, Hoseinali Rahimi Bondarabadi³

1- M.Sc. Student in Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Yazd University of Technology, Yazd, Iran

2- Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Yazd University of Technology, Yazd, Iran

3- Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Yazd University of Technology, Yazd, Iran

ABSTRACT

This article investigates the effect of the roof cover and the stressed skin action on the optimal design of curved portal frames. According to stressed skin effect, diaphragm is carrying part of the horizontal force of structure and the remaining part is carried out by the frames. Therefore, interior frames are designed for lower forces which, in turn, results in a lighter structure. Stressed skin effect is modelled using the equivalent spring theory. A program which links Sap2000 and genetic algorithm was developed that provides the best sections which result in the minimum weight of structure. Designs are performed by using the allowable stress design and stress skin effect. Seven curved portal frames with different span dimensions, lengths, number of frames and column heights are considered and optimally designed for roof cover with thickness of 0.5 mm and 0.7mm. The objective function is defined as the weight of the structure and the problem consists of eight design variables. The results show that consideration of the stressed skin effect results in a reduction of weight by more than 20% and that increasing the height of column results in 10% reduction of the weight. Moreover, it was observed that increasing the length of the span results in a 5% reduction in weight. Effects of increasing the number of frames and changing the length of the structure are negligible and are only about 1 or 2 percent of reduction in weight. Increase in the thickness of the roof cover sheet about 0.2 mm results in a decrease of the weight by about 3%.

ARTICLE INFO

Received: 15/07/2017

Revised: 24/11/2017

Accepted: 13/12/2017

Keywords:

Curved portal frames, Optimal design, Stressed skin effect, Equivalent spring theory, Genetic algorithm.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2017.91588.1261

*Corresponding author: Behrouz Ahmadi-Nedushan

Email address: behrooz.ahmadi@yazd.ac.ir

۱- مقدمه

سوله یکی از سازه‌های مهمی است که تمایل به ساخت آن در جوامع بشری به دلیل نداشتن محدودیت در ابعاد و هندسه سالن، عدم نیاز به تعبیه ستون در میانه سالن، داشتن وزن بسیار ناچیز با وجود ابعاد زیاد سازه، سرعت بالا در ساخت و برپایی سازه، امکان برچیدن اسکلت سازه از محل فعلی و نصب آن در محل دیگر و اطمینان از عملکرد مناسب سازه به جهت داشتن تقارن در اغلب موارد، افزایش یافته است [۱]. امروزه سوله‌های قوسی به دلیل معماری زیبا و منحصر به فرد از لحاظ تنوع شکل بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند؛ به همین جهت در این مقاله به بهینه سازی این نوع سازه پرداخته می‌شود.

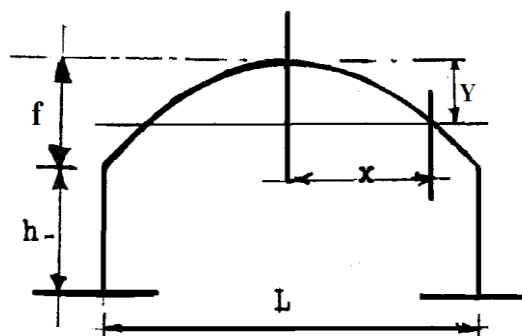
با تحقیقات آلوود و چونگ (۱۹۸۵)، تام و جنینگ (۱۹۸۸)، ساکا (۲۰۰۳) و مهدیلوترکمانی و همکاران، استفاده از اعضا با مقاطع غیر منشوری برای کاهش وزن این نوع سازه به یک اصل تبدیل شد و امروزه تمامی سوله‌ها با مقاطع غیر منشوری ساخته می‌شوند [۲-۵]. در ۲ دهه اخیر محققین با استفاده از روش‌های بهینه سازی در تلاش برای کاهش قیمت سازه‌های فولادی هستند. یکی از تکنیک‌های بسیار موثر، الگوریتم ژنتیک است که توسط گلدبرگ ارائه شد [۶]. مک کنیستری و همکاران، ساکا و همکاران از این الگوریتم و عیسی و فواد از الگوریتم ژنتیک اصلاح شده جهت کاهش وزن قاب‌های پرتال استفاده کردند [۴، ۷-۸]. طبق نتایج حاصل از این تحقیقات الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کارآمد جهت طراحی بهینه سوله‌ها می‌باشد به همین جهت در این پژوهش از این الگوریتم استفاده شده است. یکی دیگر از روش‌های کارآمد در کاهش وزن سوله‌ها، استفاده از عملکرد تنش پوسته‌ها در طراحی این نوع سازه می‌باشد. طراحی تنش پوسته‌ای توسط پروفیسور اریک برایان در سال ۱۹۷۳ ارائه شد [۹]. در سال ۱۹۹۵ توسط برایان و دیویس آیین نامه اروپا برای طراحی تنش پوسته‌ای در سازه‌های فولادی فراهم شد [۱۰]. هم چنین آن‌ها در سال ۲۰۰۶ مقاله‌ای در این مورد ارائه کردند [۱۱]. فرانسس (۱۹۸۴) نیز با تحلیل الاستیک، تاثیر پوشش سقف را مورد بررسی قرار داد [۱۲]. در کل با مطالعات اقتصادی که در اروپا توسط سازمان‌هایی مانند انجمن سازه‌های فولادی اروپا (ECCS) و یا سازمان توسعه و تحقیقات فولاد انجام شد نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن اثر دیافراگم می‌توان بیش از ۱۰ درصد هزینه کل ساخت سازه فولادی را کاهش داد [۱۰]. این نوع طراحی شاید به دلیل سختی طراحی و یا نبود نرم افزارهای مناسب جهت بررسی دقیق، مورد توجه قرار نگرفت. با گسترش تکنولوژی در سال ۲۰۱۵ ناجی و همکاران این عملکرد را با نرم افزارهای اجزا محدود ConSteel 8.0 مدل کردند [۱۳]. فان و همکاران نیز در همان سال تاثیر عمل تنش پوسته‌ای را با تئوری فنر معادل در طراحی بهینه قاب‌های پرتال فولادی سرد نورد شده با اتصال نیمه صلب بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از این عملکرد می‌تواند حتی تا حدود ۵۰ درصد هزینه ساخت سازه را کاهش دهد. البته میزان این کاهش برای سازه با اتصالات صلب کمتر خواهد بود و به عوامل زیاد دیگری نیز وابسته است و نیاز به مطالعه بیشتر دارد [۱۴].

هدف از این پژوهش دستیابی به طرح بهینه سوله‌های صنعتی قوسی با در نظر گرفتن عملکرد تنش پوسته‌ها می‌باشد. ابتدا عملکرد تنش پوسته‌ها معرفی و سپس تاثیر آن بر طراحی سازه بررسی می‌گردد. برای این کار ۷ سوله قوسی به روش تنش مجاز و بدون در نظر گرفتن اثر تنش پوسته‌ها طراحی می‌گردد. سپس اثر پوشش سقف که مقاومت جانبی در برابر تغییر شکل در صفحه روکش فراهم می‌کند، به صورت فنر در این سوله‌ها مدل می‌گردد. در نهایت با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهترین مقاطع برای اعضا سوله تخمین زده خواهد شد تا وزن سازه کمینه گردد. این سوله‌ها از نظر ابعاد و اندازه، متفاوت هستند تا تاثیر انعطاف پذیری قاب بر عملکرد تنش پوسته‌ها بررسی گردد.

۲- سوله و هندسه مدل

مطابق با نشریه ۶۱ (طرح و محاسبه قاب‌های شیبدار و قوسی فلزی) در طراحی قاب‌های قوسی از معادله سهمی برای تیرها استفاده می‌گردد؛ زیرا معادلات حاصل برای طراحی دستی این نوع قاب آسان‌تر از قوس دایره‌ای می‌باشد. این در حالی است که در عمل، اجرای قاب با قوس دایره آسان‌تر و عملی‌تر است. البته برای قوس‌های نسبتاً تخت که نسبت خیز به دهانه $\frac{f}{l} < 0.2$ در آن‌ها است (که این نسبت شامل بسیاری از قوس‌هایی است که در عمل به کار می‌رود) تفاوت سقفی که با منحنی سهمی و یا دایره ساخته شده باشد بسیار کوچک است؛ به همین علت می‌توان شکل هندسی یکی را جانشین دیگری نمود و ابعاد مقطعی که از آنالیز قوس سهمی بدست

می آید برای قوس دایره نظیر به کار برد، بدون آن که احتیاج به محاسبه مجدد باشد [۱۵]. در این پژوهش طبق رابطه (۱) و شکل (۱) منحنی سهمی طراحی و مدل گردید.



شکل ۱: سوله با قوس سهمی [۱۶]

$$y = \frac{4fx}{L^2} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، h ارتفاع ستون سوله، L عرض دهانه سوله، f فاصله ارتفاع تاج تا ستون، Y فاصله هر نقطه روی منحنی تا راس تاج در راستای محور y ، X فاصله هر نقطه روی منحنی تا راس تاج در راستای محور x می باشند [۱۶].

۳- عملکرد تنش پوسته ها

در تئوری عملکرد تنش پوسته‌ها سقف و پوشش سازه به عنوان دیافراگم برشی عمل می‌کنند به طوری که سختی و مقاومت در برابر کشش که در تمام فلزات و هم چنین روکش فلزی سازه وجود دارد؛ سبب می‌شود تا به قاب‌های داخلی مقدار نیروی کمتری انتقال یابد و به همین دلیل این قاب‌ها سبک‌تر ساخته شوند و در نتیجه وزن سازه کاهش یابد. در واقع ورق پوشش، علاوه بر قاب سازه در طراحی مدل می‌گردد که قسمتی از نیروی خارجی توسط قاب فولادی و قسمتی توسط دیافراگم تحمل خواهد شد که مقدار نیروی وارد به هر یک، به نسبت سختی قاب به سختی دیافراگم وابسته است و قاب و دیافراگم برای این نیروها طراحی می‌شوند. در قاب‌های با بام شیروانی، سطح شیروانی دیافراگم تاثیر کمتری بر مقاومت بار عمودی و تاثیر بیشتری بر مقاومت بار جانبی دارد. این مقاومت به خواص فلز (فولادی ، آلومینیومی و ...)، ضخامت ورق، نحوه اتصال ورق، تعداد قاب‌ها و ... بستگی دارد. عملکرد تنش پوسته‌ای یک مقاومت جانبی برای تیرها و خرپاها و یک مهاربندی برای قاب‌های شیبدار فراهم می‌کند. اگر سازه هم دارای مهاربندی و هم دارای ورق باشد، دیافراگم سقف به طور جداگانه باعث کاهش در نیروی جانبی می‌شود. یک المان بنیادی در تئوری عملکرد دیافراگم، یک پانل برشی است که می‌تواند شامل یک یا تمام قسمت‌های زیر باشد:

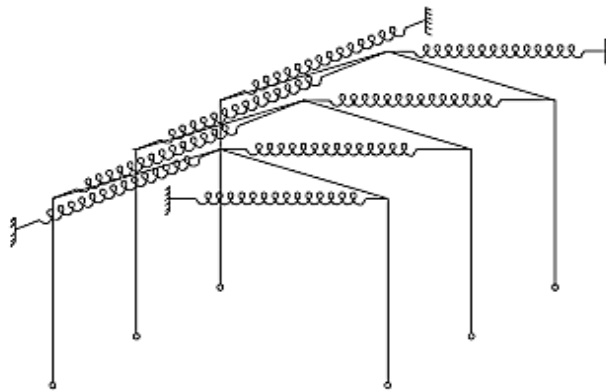
۱- طول مشخص پروفیل ورق فولادی ۲- پرلین یا اعضای ثانویه عمود بر جهت طول ورق ۳- رفته یا تیر اصلی موازی با جهت طول ورق ۴- اتصال پرلین - ورق ۵- اتصال درز بین عرض ورق‌ها ۶- اتصال برشی بین رفته و ورق ۷- اتصال بین اتصال برشی و ورق ۸- اتصال رفته - پرلین [۱۰]. که انتخاب درست و طراحی مناسب هر یک از این موارد در طراحی به روش عملکرد تنش پوسته‌ها موثر می‌باشد.

عملکرد تنش پوسته‌ها به مقدار زیادی به نسبت طول به عرض سازه بستگی دارد اگر نسبت طول به عرض برای ساختمان با سقف شیبدار تحت بار افقی از ۴ و تحت بار قائم از ۲/۵ تجاوز نکند، این عملکرد تاثیر بیشتری خواهد داشت. عملکرد تنش پوسته‌ها در سازه با سقف مسطح برای بارهای افقی مثل باد، جرثقیل، نیروی زلزله طراحی می‌شود اما در سازه با سقف شیروانی علاوه بر این بارها برای بار قائم مثل برف نیز اعمال می‌شود. در کل میزان تاثیر عملکرد تنش پوسته‌ای بر حرکت جانبی و کاهش غیر مستقیم در نیرو و ممان به نسبت انعطاف پذیری پانل برشی به انعطاف پذیری قاب بستگی دارد [۱۰].

اگر در طراحی، تاثیر ورق‌ها نادیده گرفته شود، رفتار محاسبه شده یک سازه ممکن است کاملاً غیر واقعی باشد در حالی که، خود ورق‌ها به تنهایی تنش بالایی دارند و آن به دلیل سختی و جذب بالای بار برشی آنهاست.

تئوری فنر معادل

در این پژوهش از تئوری فنر معادل جهت مدل سازی عملکرد تنش پوسته‌ای، استفاده شده است. در این روش عملکرد تنش پوسته‌ای با جایگزینی پانل برشی با فنر، با انعطاف پذیری معادل C انجام می‌شود. طبق شکل (۲) فنر، قاب‌های مجاور را از اتصال صلب به تیر پیش آمدگی لبه بام (eaves) متصل می‌کند. روش دیگر جهت طراحی این عملکرد استفاده از یک عضو منشوری با مساحت سطح مقطع A می‌باشد که معمولاً این روش برای نرم افزارهایی که قابلیت طراحی فنر با انعطاف پذیری مشخص را ندارند استفاده می‌شود [۱۷].



شکل ۲: تئوری فنرها [۱۰]

$$A = \frac{L}{cE} \quad (2)$$

$$c = c_{1.1} + c_{1.2} + c_{1.3} + c_{2.1} + c_{2.2} + c_{2.3} + c_3 \quad (3)$$

c_1 به دلیل انعطاف پذیری ورق، c_2 به دلیل اتصال ورق، C انعطاف پذیری ورق، $c_{1.1}$ انعطاف پذیری پروفیل ورق، $c_{1.2}$ کرنش برشی در ورق، $c_{1.3}$ کرنش محوری پرلین، $c_{2.1}$ انعطاف پذیری اتصال پرلین و ورق، $c_{2.2}$ انعطاف پذیری درز اتصال، $c_{2.3}$ انعطاف پذیری ورق و اتصال، c_3 انعطاف پذیری اتصال پرلین به رفتار این انعطاف پذیری مطابق با فرمول‌های (۴) تا (۱۱) محاسبه می‌شود. فرمول‌های ارائه شده برای حالتی است که طول ورق عمود بر طول سازه باشد.

$$c_{1.1} = \frac{ad^2 \alpha_1 \alpha_2 k}{Et^2 b^2} \quad (4)$$

اگر $b/d \geq 10$ باشد $c_{1.1}$ اعمال می‌شود.

$$c_{1.2} = \frac{2a \alpha_2 (1+\delta) \left[1 + \frac{2h}{a}\right]}{Etb} \quad (5)$$

$$c_{2.1} = \frac{2a S_p \rho \alpha_3}{b^2} \quad (6)$$

$$c_{2.2} = \frac{2S_x S_p (n_{sh} - 1)}{2n_x S_p + \beta_1 n_p S_x} \quad (7)$$

$$c_{2.3} = \frac{4(n+1)S_{sc}}{n^2 n_{sc}^2} \quad (8)$$

$$c_3 = \frac{n^3 a^3 \alpha_3}{4.8 E A b^3} \quad (9)$$

$$C' = c_{1.1} + c_{1.2} + c_{2.1} + c_{2.2} + c_{2.3} \quad (10)$$

$$c = C' + c_3 \quad (11)$$

a فاصله بین قابها، b عرض دهانه سوله، d طول هر موج ورق پوشش، t ضخامت ورق پوشش، ضرایب $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ با توجه به تعداد پرلینها از جداول آیین نامه اروپا تعیین می شود. در این پژوهش فاصله بین پرلینها یک متر فرض شد. در نتیجه برای هر سوله با هر اندازه دهانه تعداد پرلینها متفاوت خواهد بود. n_p تعداد پرلینها، l نصف طول هر موج، h' ارتفاع هر موج، K ضریبی است که به نسبت-های l/d و h'/d و زاویه خم شدن موج پوشش وابسته است و از جداول آیین نامه تعیین می شود، E مدول الاستیسیته، θ ضریب پواسون، $S_{sc} = S_p = 0.35$ با توجه به استفاده از اتصالات پیچی با واشر، انتخاب شد، P شیب ورق به اتصال دهندههای لایه، n_f تعداد اتصال دهندههای ورقها در عرض، β_1 ضریبی است که با توجه به n_f از جداول آیین نامه تعیین می شود. n_s تعداد اتصالات درزها در محیط سوله، n_{sh} تعداد عرض ورق در پانل برشی، n_{sc} تعداد اتصالات ورق به اتصالات برشی رفتن خارجی، n'_{sc} تعداد اتصالات ورق به اتصالات برشی رفتن داخلی [۱۰]. همه ابعاد در فرمولها بر حسب mm و نیروها بر حسب kN/mm^2 می باشد.

$$n_{sc} = \left(\frac{1}{2}\right) (n - 1) n'_{sc} \quad (12)$$

که N تعداد کل پانلهای برشی در طول دیافراگم می باشد.

مطابق با رابطه (۱۳) مقاومت کششی نهایی ورق چک می شود:

$$F_p = 1.9 f_u d_n t \leq 8.0 \quad (13)$$

و مطابق با رابطه (۱۴) مقاومت کششی نهایی اتصالات چک می شود:

$$F_s = 2.9 \left(\frac{t}{d_n}\right)^{\frac{1}{2}} \times f_u d_n t \leq 3.8 \quad (14)$$

d_n بعد اسمی اتصالات (mm)، f_u تنش کششی نهایی در ورق فولادی (kN/mm^2)، t ضخامت خالص ورق (mm) [۱۰].

۴- الگوریتم ژنتیک

طراحی سیستمهای کارا و ارزان با برآورده شدن همه نیازهای عملکردی برای مهندسان یک چالش محسوب می شود. هر دو فرآیند طراحی متداول و بهینه می توانند در طی مراحل مختلف تکامل سیستم مورد استفاده قرار گیرند. در روند طراحی متداول بصیرت، تجربه و مهارت طراح نقش اصلی را دارد [۱۸]. طراحی بهینه، طراح را مجبور به تعیین یک مجموعه از متغیرهای طراحی می کند به گونه ای که ضمن در نظر گرفتن قیود طراحی برای سیستم، تابع یا توابع هدف، بهینه شود. با این حال فرآیند بهینه سازی می تواند به طور قابل ملاحظه ای از تجربه و شهود طراحی در فرمول بندی مسئله کمک گیرد و قیدهای بحرانی مشخص شوند.

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه سازی الهام گرفته از طبیعت و مبتنی بر تکرار است که اصول اولیه آن از علم ژنتیک اقتباس گردیده است [۱۹]. در حالت کلی در الگوریتم ژنتیک ابتدا یک جمعیت اولیه از افراد به صورت تصادفی انتخاب و برای تمامی کروموزومهای (افراد) نسل صفر مقدار تابع هدف تعیین می شود. سپس با مکانیزمهای مختلف، زیرمجموعه ای از جمعیت اولیه انتخاب و سپس روی این افراد عملیات برش و جهش در صورت لزوم با توجه به صورت مسأله اعمال خواهد شد. حال باید این افراد با افراد جمعیت اولیه (نسل صفر) از لحاظ مقدار تابع هدف مقایسه شوند. افرادی باقی خواهند ماند که بهترین مقدار برازش را داشته باشند. این افراد به عنوان جمعیت اولیه برای مرحله بعدی الگوریتم عمل خواهند کرد. هر مرحله تکرار الگوریتم یک نسل جدید را ایجاد می کند. اصلی ترین معیار همگرایی در الگوریتم ژنتیک ثابت شدن مقدار برازش کروموزومها در نسلهای متوالی است [۲۰]. در فرمول بندی یک مسئله به

روش الگوریتم ژنتیک هر متغیر تصمیم گیری یک ژن و رشته‌ای از متغیرها یک کروموزوم می‌باشد. مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها، جمعیت را تشکیل می‌دهند. هر تکرار، که یک جمعیت در تابع هدف بررسی می‌شود را یک نسل می‌گویند. واژه براش، مقدار عددی تابع هدف را برای هر ترکیب از مقادیر متغیرهای تصمیم در روش الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد. در این پژوهش از این الگوریتم جهت بهینه سازی استفاده گردید.

۵- مسئله بهینه سازی

هر مسئله بهینه سازی باید به صورت روابط (۱۵) تا (۱۸) رابطه سازی شود.

$$f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (15)$$

$$g_i(x) = g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0, \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (16)$$

$$h_j(x) = h_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad (j = 1, 2, \dots, p) \quad (17)$$

$$x_k^l \leq x_k \leq x_k^u, \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (18)$$

$f(x)$ تابع هدف، $g_i(x)$ قیود نامساوی، $h_j(x)$ قیود مساوی، m تعداد متغیرهای نامساوی، p تعداد متغیرهای مساوی، x_k^l کران پایین متغیر طراحی، x_k^u کران بالای متغیر طراحی، x_k متغیرهای طراحی و n تعداد متغیرهای طراحی هستند.

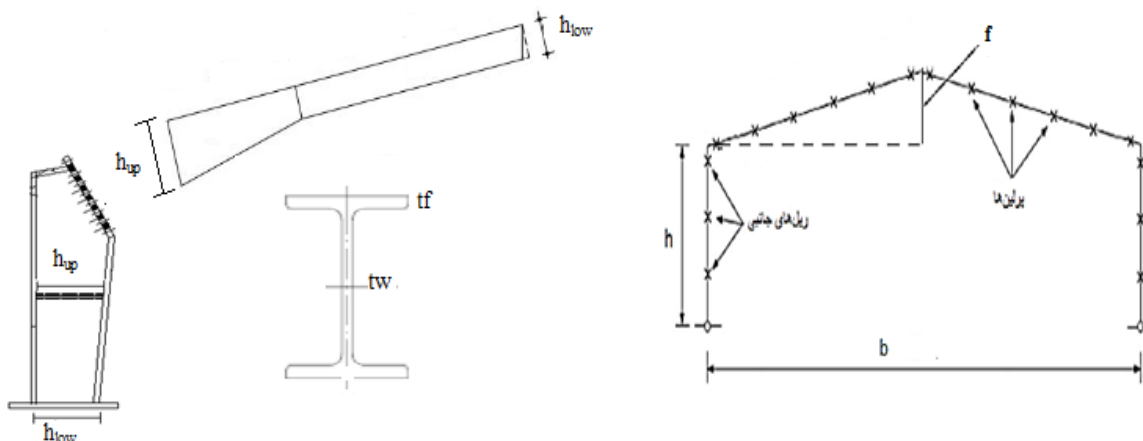
تابع هدف: مطابق با رابطه (۱۵) ابتدا باید تابع هدف در مسئله بهینه سازی تعیین گردد که این تابع معیاری برای سنجش و مقایسه طرح‌های مختلف می‌باشد. در مسائل بهینه سازی با توجه به شرایط و ویژگی‌های مسئله، از توابع پنالیتی (جریمه) جهت در نظر گرفتن قیود در کنار تابع هدف استفاده می‌گردد [۲۰]. در این پژوهش تابع هدف با ترکیب وزن و تابع جریمه مطابق معادله (۱۹) در نظر گرفته شد:

$$F = W(1 + \sum_{i=1}^n CVP_i) \quad (19)$$

$$CVP_i = \begin{cases} 0 & \text{اگر } g_i \leq 0 \\ g_i & \text{اگر } 0 < g_i \leq 0.1 \\ 10g_i & \text{اگر } g_i \geq 0.1 \end{cases} \quad (20)$$

W تابع هدف اصلی و وزن سازه است، CVP_i مقدار پنالیتی، g_i توابع قیود و n تعداد کل قیده‌ای نامساوی می‌باشند.

متغیرهای طراحی: به کمیت‌هایی که در طی فرآیند بهینه سازی برای حصول بهترین طرح تغییر می‌کنند متغیرهای طراحی گفته می‌شود. معمولاً متغیرهای طراحی را با بردار $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ مشخص می‌کنند که n تعداد متغیرهای طراحی است. در این پژوهش مطابق شکل (۳)، ۸ متغیر طراحی شامل f ارتفاع تاج تا شانه، h_{up} ارتفاع مقطع بزرگ ستون و تیر، h_{low} ارتفاع مقطع کوچک ستون و تیر، tf_{col} ضخامت بال تیر و ستون، tw_{col} ضخامت جان تیر و ستون، $h_{wallpost}$ ارتفاع مقطع وال پست‌ها، $tf_{wallpost}$ ضخامت بال مقطع وال پست، $tw_{wallpost}$ ضخامت جان مقطع وال پست، در نظر گرفته شد.



شکل ۳: متغیرهای طراحی

در حل مسئله از فرضیات اجرایی و مناسب جهت افزایش سرعت و دقت طراحی، استفاده شد. معمولاً ابعاد استرات‌ها و قطر میلگردها مقادیر کوچک و ثابتی هستند به همین جهت یکی از فرضیات ساده کننده ثابت در نظر گرفته شدن این ابعاد است. فرضیات دیگر شامل مساوی در نظر گرفتن ضخامت بال بالا و پایین در تیرها، ستون‌ها و در وال پست‌ها است. متغیرهای طراحی به دلیل وجود مقاطع خاص در بازار از نوع گسسته هستند.

قیود طراحی: سازه‌ها براساس منابع و نیازهای عملکردی طراحی ساخته می‌شوند، این نیازها و منابع باعث اعمال محدودیت‌هایی در طراحی سازه می‌گردند که از آن‌ها به عنوان قیود طراحی نام برده می‌شود. قیود این پژوهش مطابق با روابط (۲۱) تا (۳۲) می‌باشد.

- هندسه مدل:

$$g_1 = \frac{h_{up} - h_{low}}{h_{low}} - \min\left(6.0, \left(\frac{0.2681}{h_{low}}\right)\right) \leq 0 \quad (21)$$

طبق این رابطه عمق مقاطع باید به صورت خطی تغییر کند. h_{low} عمق مقطع در انتهای کوچکتر عضو بر حسب سانتی متر، h_{up} عمق مقطع در انتهای بزرگتر عضو بر حسب سانتی متر، Z فاصله از انتهای کوچکتر عضو بر حسب سانتی متر، L طول عضو بر حسب سانتی متر [۲۱].

$$g_2 = \theta - 10^\circ \leq 0 \quad (22)$$

θ زاویه شیب سقف است. طبق آیین نامه اروپا تاثیر عملکرد تنش پوسته‌ها برای سقف با شیب کمتر از 10° درجه ناچیز است و

البته این پژوهش بر سازه با سقف شیبدار مطالعه می‌کند به همین جهت قید دوم ارائه می‌شود.

- کنترل جابجایی: طبق آیین نامه، سختی جانبی سازه باید به حدی باشد که تغییر مکان جانبی ایجاد شده در هر تراز سازه، زیر

اثر بارهای ناشی از باد، از 0.005 برابر ارتفاع آن تراز از سطح زمین تجاوز نکند.

$$g_3 = \frac{U_x}{H} - 0.005 \leq 0 \quad (23)$$

$$g_4 = \frac{U_y}{H} - 0.005 \leq 0 \quad (24)$$

U_x جابجایی جانبی در راستای X ، U_y جابجایی جانبی در راستای Y ، H ارتفاع ستون می‌باشد [۲۲].

- کنترل کفایت اعضا:

$$g_5 = \frac{\sigma}{\sigma_a} - 1 \leq 0 \quad (25)$$

σ تنش موجود در اعضا، σ_a تنش مجاز است [۲۲].

- کنترل واژگونی: به راحتی می توان سازه را در برابر واژگونی نیز کنترل کرد. برای این منظور ابتدا لازم است تا لنگرهای واژگونی و هم چنین وزن سازه را از نرم افزار استخراج کرد. هرچند که در این نوع سازه ها، واژگونی بحرانی نیست، اما در صورتی که ضریب اطمینان محاسبه شده کمتر از میزان مجاز باشد، لازم است تا با افزایش بازوی لنگر مقاوم و یا افزایش وزن، سازه را در برابر واژگونی مقاوم کرد. به طور کلی هرچه ارتفاع سازه بیشتر و وزن آن کمتر باشد، احتمال بروز واژگونی بیشتر خواهد شد.

$$g_6 = 1.75 - \frac{M_w}{M_{y_{wind_x}}} \leq 0 \quad (26)$$

$$g_7 = 1.75 - \frac{M_w}{M_{y_{Ex}}} \leq 0 \quad (27)$$

M_w لنگر مقاوم در برابر واژگونی، $M_{y_{wind_x}}$ لنگر واژگونی ناشی از باد، $M_{y_{Ex}}$ لنگر واژگونی ناشی از زلزله را نشان می دهد [۲۲].

- کنترل نیروی موجود در مهاربندها:

$$g_8 = T - T_{allow} \leq 0 \quad (28)$$

$$T_{allow} = 1.33 \times 0.33 \times F_u \times A_{Rod} \quad (29)$$

F_u تنش تسلیم فولاد میلگرد، A_{Rod} مساحت سطح مقطع میلگرد، T نیروی کششی موجود در مهاربندها، T_{allow} نیروی کششی مجاز در مهاربندها است [۲۲].

- کنترل کفایت موضعی مقاطع:

$$R = \frac{\text{طول لایه} \times \text{عرض بارگیر لایه} \times (\text{DEAD} + \text{SNOW})}{2} \quad (30)$$

با توجه به ضخامت ۱ سانتی متری، بعد جوش ۵ میلی متر در نظر گرفته می شود.

$$K = a_{weld} + t_f = 0.5 + 1 = 1.5 \text{ cm} \quad (31)$$

$$g_9 = \frac{R}{t_w(N+2.5K)} - 0.66F_y \leq 0 \quad (32)$$

N طول تماس بار متمرکز است که برابر با K در نظر گرفته می شود. a_{weld} بعد جوش، t_f ضخامت بال، t_w ضخامت جان می باشد

[۲۲].

g_1 و g_2 قیود هندسی و g_3 تا g_{10} قیود رفتاری هستند.

۶- پنداره تحلیل سازه

در این مقاله جهت طراحی سازه به روش تنش مجاز از مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۸۷ و مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۸۷ استفاده می شود [۲۲، ۲۳]. برای تحلیل و طراحی سازه، نرم افزار طراحی سوله فراهم گردیده است که ابتدا اطلاعاتی شامل ابعاد سوله و شرایط محیطی استقرار سوله (محل لرزه خیزی، نوع خاک و ...) توسط کاربر به عنوان ورودی نرم افزار تعیین می شود. Matlab نرم افزار SAP را باز کرده و عملیات طراحی را انجام می دهد. نتایج خروجی وارد Matlab و قیود کنترل می شود. این کار تا زمانی ادامه می یابد که شرط توقف الگوریتم ژنتیک برقرار شود و در نهایت بهترین خروجی به کاربر ارائه می گردد. طراحی این نرم افزار با لینک نرم افزارهای SAP و MATLAB و استفاده از API نرم افزار SAP امکان پذیر شده است. به زبان ساده API (Application Programming Interface) رابطهای نرم افزاری هستند که ارتباط بین نرم افزارهای مختلف را پیاده سازی می کنند. در نهایت این نرم افزار برای طراحی به روش عملکرد تنش پوسته ها نیز بسته داده شد.

۷- مثال عددی

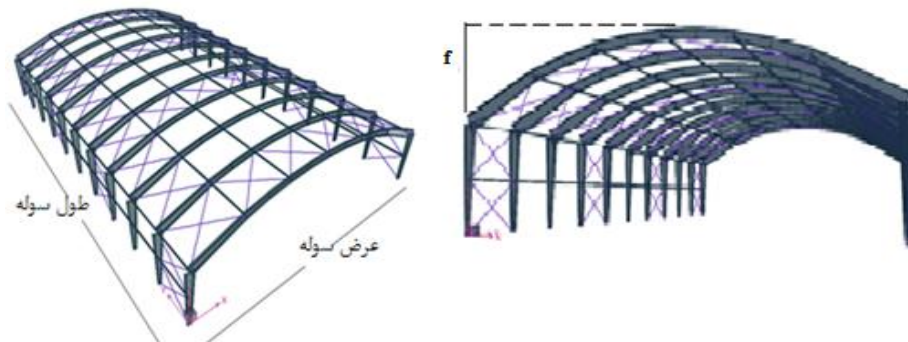
برای بررسی عملکرد تنش پوسته‌ها در سوله قوسی، ۷ سوله یکبار با روش معمول و بار دیگر با در نظر گرفتن اثر تنش پوسته‌ها برای ضخامت ورق ۰/۵ میلی متر طراحی شدند. سازه‌ها مطابق جدول (۱) از ورق فولادی با مدول الاستیسیته ۲۱۰ کیلونیوتن بر میلی متر مربع، مدول برشی ۸۱ کیلونیوتن بر میلی متر مربع، ضریب پواسون ۰/۳، ضریب انبساط حرارتی 12×10^{-6} و چگالی ۷۸۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب ساخته می‌شوند. سازه یک طبقه فولادی با سقف قوسی دارای تیر وستون با مقاطع غیر منشوری، ستون‌های با تکیه‌گاه مفصلی طراحی گردید که شکل کلی سازه مطابق شکل (۴) می‌باشد. با توجه به اینکه سازه بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و به روش تنش مجاز طراحی می‌شود لازم است تا ترکیبات بارگذاری لازم مطابق ترکیبات بار (۳۳) تا (۴۷) به نرم افزار معرفی شود [۲۳]:

DEAD+SNOW	(۳۳)
DEAD+SNOW+EX	(۳۴)
DEAD+SNOW+EY	(۳۵)
DEAD+SNOW+WIND-X	(۳۶)
DEAD+SNOW+WIND-Y	(۳۷)
DEAD+SNOW+ (TEMP-POS)	(۳۸)
DEAD+SNOW+ (TEMP-NEG)	(۳۹)
DEAD+ (TEMP-POS)	(۴۰)
DEAD+ (TEMP-NEG)	(۴۱)
DEAD+SNOW+Q+H+N	(۴۲)
DEAD+SNOW+Q-H+N	(۴۳)
DEAD+SNOW+Q-H-N	(۴۴)
DEAD +Q+H+N	(۴۵)
DEAD +Q-H+N	(۴۶)
DEAD +Q-H-N	(۴۷)

DEAD بار مرده، SNOW بار برف، EY و EX بار زلزله، WIND-X و WIND-Y بار باد، TEMP-POS و TEMP-NEG بار حرارتی، Q نیروی ناشی از وزن ارابه، وزن پل و ظرفیت اسمی جرثقیل است که راستای اثر آن در صفحه جان تیر حمل جرثقیل است، H نیروی ناشی از حرکت ارابه که در راستای عمود بر جان تیر حمل جرثقیل می‌باشد، نیروی N ناشی از حرکت طولی پل بر روی تیر حمل که راستای آن در امتداد محور طولی تیر حمل جرثقیل است. در صورتی که نیاز به کنترل جابجایی سازه برای بارهای ثقلی و باد به صورت همزمان باشد، در نظر گرفتن ۸۰ درصد نیروی باد کفایت می‌کند. بنابراین لازم است دو ترکیب بار جدید (۴۸ و ۴۹) ایجاد نمود و جابجایی سازه در راستای عرضی در برابر این ترکیبات بار را نیز کنترل کرد:

DEAD+SNOW+0.8WIND	(۴۸)
DEAD +WIND	(۴۹)

نکته دیگر حائز اهمیت این است که برای بارگذاری باد حتما بر اساس اینکه جهت وزش باد به کدام سمت است، سازه حداقل دو بار برای باد بارگذاری می‌شود. بارگذاری کامل مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و آیین نامه زلزله ۲۸۰۰ انجام می‌گیرد.



شکل ۴: مشخصات سوله قوسی

مشخصات ابعاد و اندازه سازه مطابق با جدول (۱) در نظر گرفته شد.

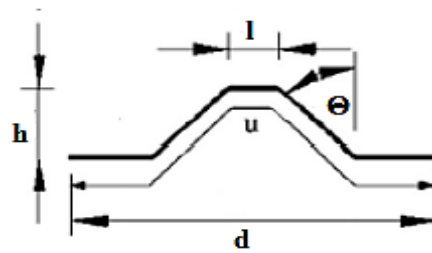
جدول ۱: مشخصات سوله‌های طراحی شده

نام سازه	عرض سوله (m)	طول سوله (m)	ارتفاع ستون (m)	فاصله قاب (m)	فشار مبنای باد (kg/m^2)	منطقه زلزله خیزی	شتاب مبنای باد	نوع زمین	تغییرات دما ($^{\circ}\text{C}$) *
سوله A	۱۲	۳۰	۶	۶	۵۰	خطر نسبی زیاد	۰/۳	III	۴۰
سوله B	۱۲	۲۴	۶	۶	۵۰	خطر نسبی زیاد	۰/۳	III	۴۰
سوله C	۱۲	۳۰	۳	۶	۵۰	خطر نسبی زیاد	۰/۳	III	۴۰
سوله D	۱۵	۳۰	۶	۶	۵۰	خطر نسبی زیاد	۰/۳	III	۴۰
سوله E	۱۲	۳۰	۹	۶	۵۰	خطر نسبی زیاد	۰/۳	III	۴۰
سوله H	۱۲	۳۰	۶	۵	۵۰	خطر نسبی زیاد	۰/۳	III	۴۰
سوله G	۱۸	۳۰	۶	۶	۵۰	خطر نسبی زیاد	۰/۳	III	۴۰

طبق آنچه در این مقاله بیان شد، میزان تاثیر عملکرد تنش پوسته‌ها به نسبت انعطاف پذیری ورق و انعطاف پذیری قاب بستگی دارد؛ به همین علت سوله‌های A، B از نظر طول سوله، A، C، E ارتفاع ستون و A، D، G ابعاد دهانه سوله، متفاوت طراحی شدند تا تاثیر تغییر انعطاف پذیری قاب بر این نوع طراحی بررسی شود.

پارامترهای تنش پوسته‌ها و الگوریتم ژنتیک در طراحی

در این مسئله تعداد کروموزوم‌ها (جمعیت) برابر ۸۰، تعداد نسل (شرط توقف) ۲۰۰، نرخ تزویج ۰/۹ و نرخ جهش را برابر با ۰/۱ در نظر گرفته شد. این پارامترها با سعی و خطا و بررسی نتایج حاصل از انتخاب‌های متفاوت انتخاب گردید. پارامترهای عملکرد تنش پوسته‌ها جهت محاسبه انعطاف پذیری مطابق با شکل (۵) و جداول (۲) و (۳) در نظر گرفته شد.



شکل ۵: ویژگی‌های ورق پوشش

جدول ۲: اطلاعات اولیه محاسبه انعطاف پذیری پوشش

n_p	α_1	α_2	α_3	n_b	α_4	h/d	l/d	$k=k_1$	$S_p=S_{sc}$	n_f
۵	۰/۷	۰/۶۷	۰/۸	۴	۲/۲	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۵۵	۰/۳۵	۵

جدول ۳: اطلاعات اولیه محاسبه انعطاف پذیری پوشش

S_s	بعد اتصال پرلین و ورق	بعد اتصال رفت و ورق	بعد اتصال درزها	n_s	n_{sh}	n	n'_{sc}	β_1	β_2
۰/۲۵	۳/۷	۳/۷	۴/۸	۱۵	۶	۵	۶	۰/۵۸	۱/۲۵

پارامترهای تنش پوسته‌ها برای دو سوله D و G به دلیل تغییر دهانه سوله و تغییر در تعداد پرلین و اتصالات و... متناسب با اطلاعات ارائه شده در جداول (۴) تا (۷) تغییر می‌کند.

جدول ۴: اطلاعات اولیه محاسبه انعطاف پذیری پوشش سوله D

n_p	α_1	α_2	α_3	n_b	α_4	h/d	l/d	$k=k_1$	$S_p=S_{sc}$	n_f
۷	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۶۴	۴	۲/۲	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۵۵	۰/۳۵	۵

جدول ۵: اطلاعات اولیه محاسبه انعطاف پذیری پوشش سوله D

S_s	بعد اتصال پرلین و ورق	بعد اتصال رفت و ورق	بعد اتصال درزها	n_s	n_{sh}	n	n'_{sc}	β_1	β_2
۰/۲۵	۳/۷	۳/۷	۴/۸	۱۹	۶	۵	۸	۰/۸۴	۱/۵۶

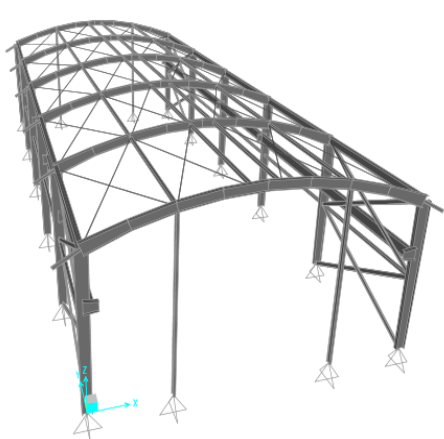
جدول ۶: اطلاعات اولیه محاسبه انعطاف پذیری پوشش سوله G

n_p	α_1	α_2	α_3	n_b	α_4	h/d	l/d	$k=k_1$	$S_p=S_{sc}$	n_f
۸	۰/۶	۰/۴۴	۰/۵۸	۴	۲/۲	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۵۵	۰/۳۵	۸

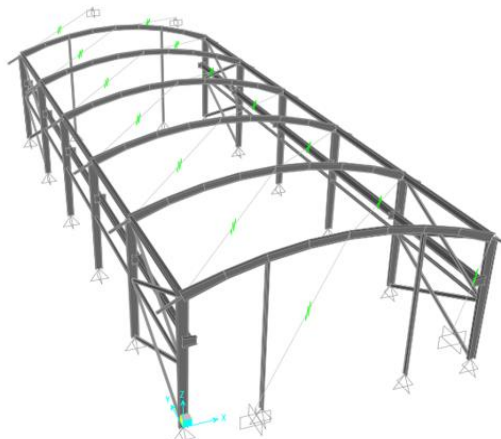
جدول ۷: اطلاعات اولیه محاسبه انعطاف پذیری پوشش سوله G

Ss	بعد اتصال پرلین و ورق	بعد اتصال رفته و ورق	بعد اتصال درزها	n_s	n_{sh}	n	n'_{sc}	β_1	β_2
۰/۲۵	۳/۷	۳/۷	۴/۸	۲۳	۶	۵	۹	۰/۹۷	۱/۷۱

در اشکال (۶ و ۷) طرح کلی سوله به روش معمول و روش عملکرد تنش پوسته‌ها مشاهده می‌شود.



شکل ۷: نمونه سوله قوسی طراحی شده به عملکرد تنش پوسته‌ها



شکل ۶: نمونه سوله قوسی طراحی شده به روش معمول

۸- نتایج حاصل از طراحی به روش تنش پوسته‌ها

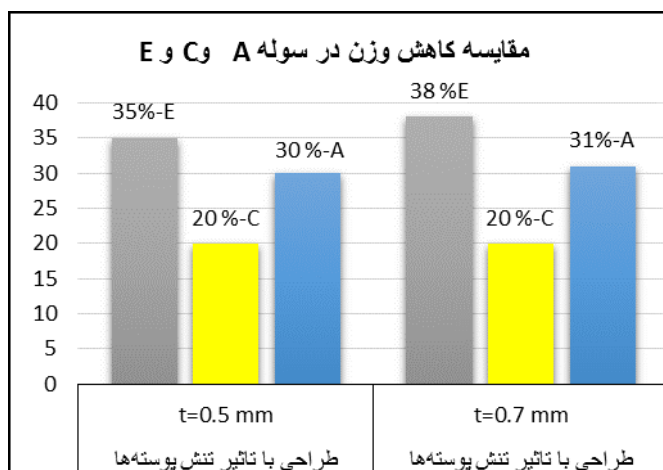
در ابتدا هر یک از سوله‌های موجود در جدول (۱) با استفاده از روش تنش مجاز و بدون استفاده از عملکرد تنش پوسته‌ها طراحی گردید؛ سپس این سوله‌ها به روش عملکرد تنش پوسته‌ها برای ورق با ضخامت ۰/۵ و ۰/۷ میلی متر طراحی شدند و با سوله‌های اولیه مقایسه گردید. با بررسی نتایج بدست آمده مطابق جدول (۸) مشاهده می‌شود که با در نظر گرفتن اثر تنش پوسته‌ها بیش از ۲۰ درصد وزن سوله قوسی کاهش می‌یابد و با تفاوت در ضخامت ورق سقف به اندازه ۰/۲ میلی متر، وزن سازه بین ۱ تا ۳ درصد کاهش می‌یابد.

جدول ۸: مقایسه سوله‌های قوسی در انواع طراحی

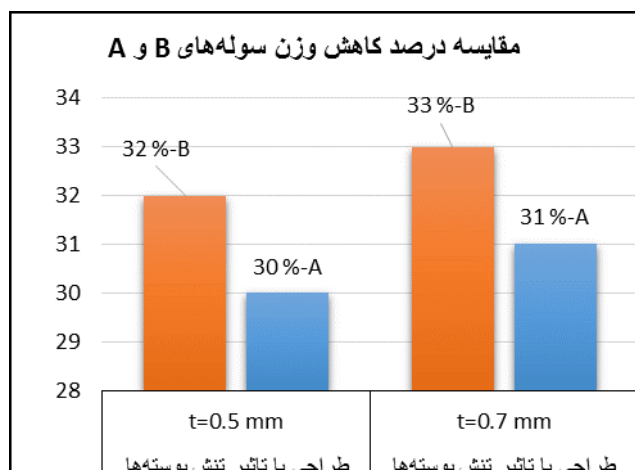
نام سوله	سوله A	سوله B	سوله C	سوله D	سوله E	سوله H	سوله G
وزن سازه طراحی متداول به روش تنش مجاز	۲۲۴۴۸/۱۶	۱۹۳۹۷/۲۸	۱۷۲۳۷/۲۶	۲۵۷۸۵/۵۲	۳۷۲۷۵	۲۳۸۰۱/۶۸	۲۹۸۱۲/۴۷
وزن سازه (kg) در طراحی با عملکرد تنش پوسته‌ها ضخامت ۰/۵ میلی متر	۱۵۶۶۲/۱۵	۱۲۷۱۵/۵۱	۱۳۶۵۹/۴۳	۱۹۰۷۶/۱۶	۲۴۰۰۱/۳۱	۱۶۳۱۳/۵۱	۲۳۲۱۰/۸۱
درصد کاهش وزن ناشی از طراحی با عملکرد تنش پوسته‌ها برای ضخامت ۰/۵ میلی متر نسبت به طراحی متداول	۳۰ درصد	۳۲ درصد	۲۰/۷ درصد	۲۶ درصد	۳۵ درصد	۳۱ درصد	۲۲ درصد
وزن سازه (kg) در طراحی با عملکرد تنش پوسته‌ها ضخامت ۰/۷ میلی متر	۱۵۴۹۲/۱۹	۱۲۵۷۶	۱۳۶۱۲/۵۴	۱۸۸۱۹/۷۱	۲۳۱۰۷/۱۴	۱۶۱۳۰/۲۱	۲۲۹۰۹/۰۸
درصد کاهش وزن ناشی از طراحی با عملکرد تنش پوسته‌ها برای ضخامت ۰/۷ میلی متر نسبت به طراحی متداول	۳۱ درصد	۳۳ درصد	۲۱/۰۳ درصد	۲۷ درصد	۳۸ درصد	۳۲ درصد	۲۳/۲ درصد

بررسی تغییر طول سوله: با مقایسه سوله A و B طبق جدول ۸ و شکل ۸ مشاهده می‌شود که تغییر طول سوله تفاوتی در نتیجه نخواهد داشت البته این امری واضح است و طول سوله برای اطمینان از نتیجه حاصل، تغییر داده شد. در این دو سوله تاثیر تغییر ضخامت ورق پوشش حدود ۱ درصد بوده است.

بررسی تغییر ارتفاع سوله: طبق جدول ۸ و شکل ۹ در سوله‌های C و E که ارتفاع سوله نسبت به سوله A تغییر کرده است سختی قاب تغییر می‌کند و این موضوع از عوامل تاثیر گذار در طراحی به روش عملکرد تنش پوسته‌ها می‌باشد. با کاهش قابل توجه ارتفاع، میزان کاهش وزن سوله بسیار کم خواهد بود اما با افزایش ارتفاع سوله و افزایش انعطاف پذیری آن تاثیر عملکرد تنش پوسته‌ای بیشتر می‌شود و تغییر ارتفاع بیش از ۱۰ درصد در این نوع طراحی تاثیر گذار است. تاثیر تغییر ضخامت در دو سوله A و C که ارتفاع کمتری داشتند حدود ۱ درصد بوده است که این مقدار برای سوله C کمتر نیز هست و برای سوله E که دارای ارتفاع بیشتر و انعطاف پذیری قاب بیشتر می‌باشد حدود ۳ درصد است.



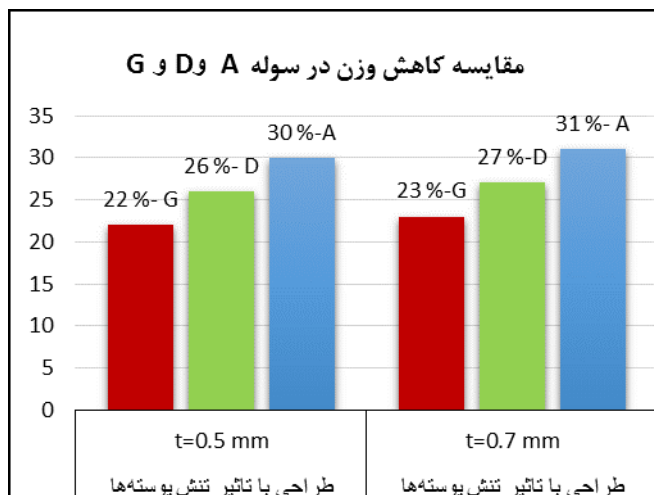
شکل ۹: مقایسه کاهش وزن ناشی از عملکرد تنش پوسته‌ها در سوله‌ها با ارتفاع متفاوت



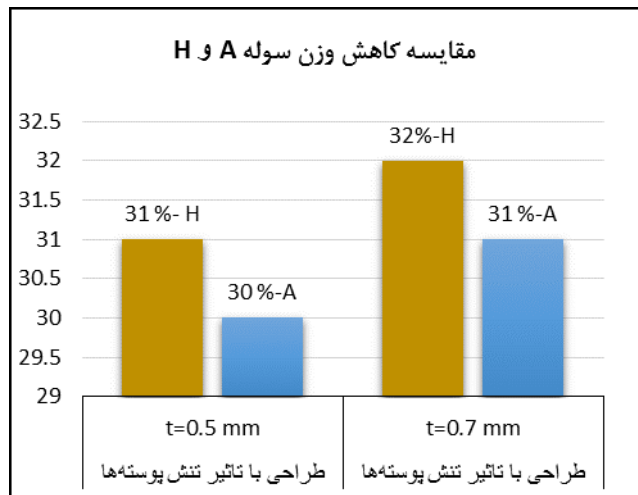
شکل ۸: مقایسه کاهش وزن ناشی از عملکرد تنش پوسته‌ها در دو سوله با طول متفاوت

بررسی تغییر ابعاد دهانه سوله: بزرگ شدن دهانه سوله سبب کاهش تاثیر عملکرد تنش پوسته‌ها به اندازه حدود ۵ درصد خواهد شد و این نتیجه در سوله D و G و جدول ۸ و شکل ۱۰ قابل مشاهده است. تفاوت تاثیر ضخامت ورق بیش از ۱ درصد بوده است.

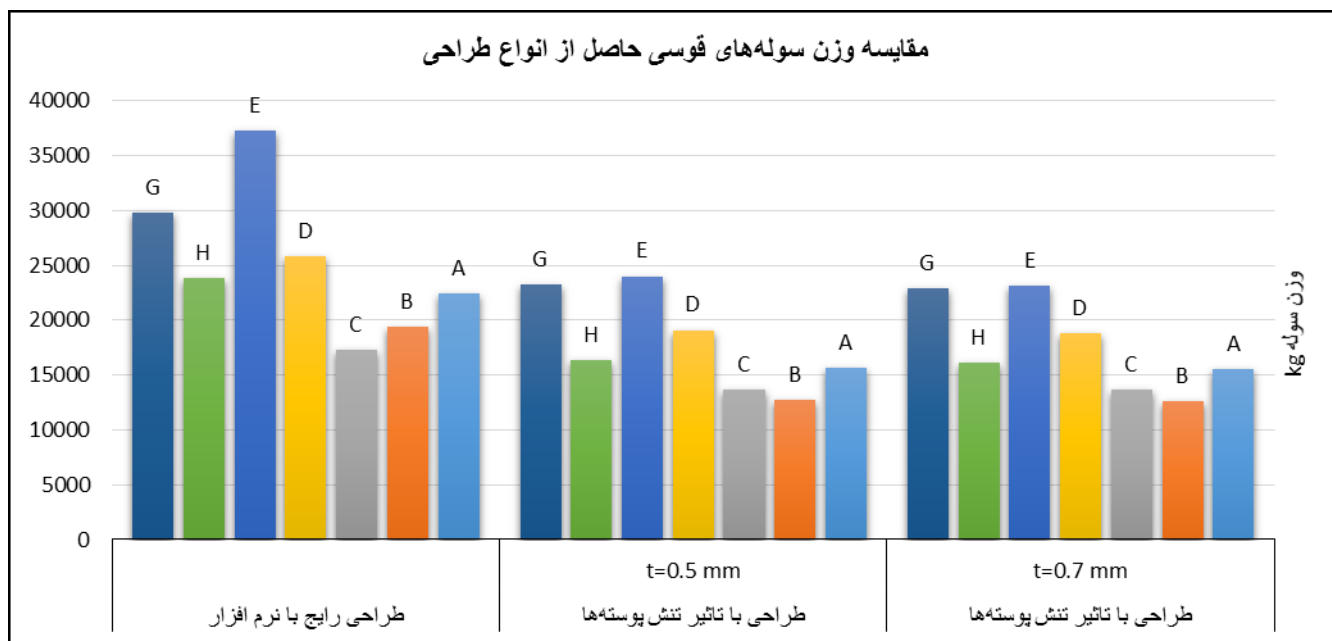
بررسی تغییر تعداد قاب: جدول ۸ و شکل ۱۱ و مشاهده کاهش وزن سوله H نسبت به سوله A نشان می‌دهد که تغییر تعداد قاب‌های داخلی و کاهش فواصل قاب‌ها تاثیری زیادی در کاهش وزن نخواهد داشت و این تاثیر حدود ۱ درصد بوده است در این حالت نیز تغییر ضخامت ورق حدود ۱ درصد تفاوت ایجاد کرده است.



شکل ۱۱: مقایسه کاهش وزن ناشی از عملکرد تنش پوسته‌ها در سوله‌ها با عرض متفاوت



شکل ۱۰: مقایسه کاهش وزن ناشی از عملکرد تنش پوسته‌ها در دو سوله با تعداد قاب متفاوت



شکل ۱۲: مقایسه وزن سوله‌های قوسی حاصل از انواع طراحی

با بررسی نتایج موجود در SAP و کنترل قیود مشاهده می‌شود که تقریباً همه قیود به خوبی رعایت شده‌اند، به غیر از دو سه مورد که درصد خطا خیلی کوچک و قابل چشم پوشی می‌باشد. نتیجه قابل توجه آن است که همواره در طراحی به روش معمول قید کنترل کننده طراحی، جابجایی سازه می‌باشد این در حالی است که در طراحی به روش عملکرد تنش پوسته‌ها قید کنترل کننده، کنترل کفایت اعضا (نسبت تنش‌ها) می‌باشد. این موضوع افزایش مقاومت در برابر حرکت جانبی با در نظر گرفتن عملکرد تنش پوسته‌ها را به خوبی نشان می‌دهد، این نتایج در جدول (۹) قابل مشاهده است.

جدول ۹: کنترل قیود طراحی

نحوه طراحی		نام سوله						
		سوله A	سوله B	سوله C	سوله D	سوله E	سوله H	سوله G
طراحی معمولی بدون تنش پوسته‌ای	g ₃	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۲	-۰/۰۰۰۱۶	-۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۰۵	-۰/۰۰۰۲۵
	g ₄	-۰/۰۰۰۴۸	-۰/۰۰۰۴۸	-۰/۰۰۰۲۳	-۰/۰۰۰۱۶	-۰/۰۰۰۴۹	-۰/۰۰۰۳۶۵	-۰/۰۰۰۴۸
	g ₅	-۰/۰۰۸۵	-۰/۰۰۴۶	-۰/۰۱۷	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۹	۰
	g ₆	-۶۱/۲۵	-۶۱/۵۲	-۱۲/۸۸	-۲۵/۹۹	-۳۵	-۷۴	-۹/۶
	g ₇	-۹/۲۵	-۱۱/۹	-۱۷	-۱۲/۱۲	-۵/۸	-۱۱	-۲۸/۹
طراحی با عملکرد تنش پوسته‌ای t=0.5mm	g ₃	-۰/۰۰۲۱۵	-۰/۰۰۱۴۳	-۰/۰۰۳۹	-۰/۰۰۲۷۵	-۰/۰۰۳۴	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۱۸
	g ₄	-۰/۰۰۰۲۹	-۰/۰۰۰۲۶	-۰/۰۰۰۲۸	-۰/۰۰۰۲۲۸	-۰/۰۰۰۴۳	-۰/۰۰۰۴۷	-۰/۰۰۰۱۰۵
	g ₅	۰	-۰/۰۰۳۷	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۳
	g ₆	-۹/۲۰	-۹/۳۲	-۶/۱۴	-۹/۶	-۸/۵	-۱۱/۰۹	-۹/۶
	g ₇	-۲۳/۸	-۲۶/۹۷	-۹/۳۴	-۲۶/۳۷	-۱۷/۵	-۲۳/۹	-۲۸/۹
طراحی با عملکرد تنش پوسته‌ای t=0.7mm	g ₃	-۰/۰۰۰۱۸	-۰/۰۰۰۱۳	-۰/۰۰۰۱۹۳	-۰/۰۰۰۱۹۲	-۰/۰۰۰۴۸	-۰/۰۰۰۲۵۵	-۰/۰۰۰۱۵
	g ₄	-۰/۰۰۰۲۷	-۰/۰۰۰۲۳	-۰/۰۰۰۲۳	-۰/۰۰۰۱۹۶	-۰/۰۰۰۴۲	-۰/۰۰۰۳۱	-۰/۰۰۰۰۶۶
	g ₅	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۵۱	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۱۱
	g ₆	-۶/۳۶	-۹/۳۱	-۸/۹۹	-۹/۶۱	-۴/۹	-۱۱/۰۹	-۹/۶
	g ₇	-۵/۰۵	-۲۶/۹۷	-۳۰/۱۹	-۲۶/۵	-۵/۳	-۲۳/۶۲	-۶/۱۱

ارائه این نکته حائز اهمیت است که در ابتدا و قبل از بررسی مدل‌های پژوهش جهت اطمینان از عملکرد صحیح نرم افزار، چندین سوله اجرایی، توسط نرم افزار حاصل و به روش تنش مجاز، طراحی و نتایج با نتایج موجود مقایسه و صحت آن‌ها بررسی شد. برای اطمینان از نتایج طراحی به روش عملکرد تنش پوسته‌ها، یک سوله هشتی مطابق با پژوهش فان و همکاران [۱۴] طراحی و نتایج مقایسه گردید. این سوله دارای طول ۲۴ متر، عرض ۱۲ متر، ارتفاع ستون ۳ متر، ارتفاع کل ۴/۰۵ متر و شیب سقف ۱۰ درجه می‌باشد. در طراحی سقف از ورق فولادی با مدول الاستیسیته ۲۰۵ کیلونیوتن بر میلی متر مربع، ارتفاع موج ۳۰ میلی متر، طول موج ۲۰۰ میلی متر، شیب خم ۳۳ درجه و ضخامت ۰/۷ میلی متر استفاده شده است. این مسئله با فرض قرار گرفتن اتصال در هر موج ورق برای ورق‌ها در دو انتها و اتصال به صورت یک در میان در موج‌های ورق‌های میانی و با $n_s=15$ ، $n_{sc}=12$ ، $n_p=5$ ، $n_{sh}=6$ ، $n_f=3$ و $S_p=S_{sc}=S_s=0.35$ و تعداد کروموزوم‌ها (جمعیت) ۸۰، تعداد نسل (شرط توقف) ۲۰۰، نرخ تزویج ۰/۹ و نرخ جهش ۰/۱ طراحی شد. طبق پژوهش فان و همکاران تاثیر عملکرد

تنش پوسته‌ها بر کاهش وزن این سوله با فرض استفاده از فولاد سرد نورد شده و اتصال نیمه صلب حدود ۳۰ درصد می‌باشد که البته مقداری از این تاثیر به نوع فولاد و نوع اتصال وابسته است و با تغییر در این فرضیات میزان این تاثیر کاهش می‌یابد. در این پژوهش با تغییر در متغیرهای طراحی پژوهش فان و همکاران و فرض استفاده از اتصالات صلب و تیرورق‌ها، میزان تاثیر عملکرد تنش پوسته‌ها حدود ۱۸ درصد حاصل شده است که در مقایسه با کار فان و همکاران ۱۲ درصد کمتر می‌باشد. این نتیجه صحت و درستی عملکرد نرم افزار تولید شده را اثبات می‌نماید.

با توجه به اینکه در توصیه نامه آیین نامه اروپا تاثیر عملکرد تنش پوسته‌ها بر کاهش وزن سوله بیش از ۱۰ درصد و مطابق پژوهش فان و همکاران بازه بین ۳۰ تا ۵۰ درصد و طبق این پژوهش برای سوله‌های قوسی حدود ۲۰ تا ۳۵ درصد می‌باشد؛ این عملکرد می‌تواند نقش اساسی در بهینه سازی وزن سوله‌ها و کاهش هزینه‌های ساخت داشته باشد و نشان می‌دهد در نظر گرفتن تاثیر عملکرد تنش پوسته‌ها و تاثیر پوشش سقف، توصیف واقعی از رفتار سازه است و طراحی سازه را از شرایط آرمانی خارج می‌کند. در این نوع طراحی انتخاب صحیح اتصالات، پرلین‌ها و ... بسیار اهمیت دارد، به همین جهت عملیات طراحی مشکل‌تر می‌شود و عوامل زیادی بر این نوع طراحی تاثیر گذار است که باید میزان تاثیر این عوامل تعیین گردد و نیاز به مطالعه بیش‌تر در این زمینه وجود دارد.

۹- نتیجه گیری

با توجه به نیاز جامعه امروز به سوله‌ها و اهمیت صرفه جویی در منابع طبیعی و صرفه جویی اقتصادی، در این پژوهش کمینه سازی وزن سوله‌ها در نظر گرفته شد. مهمترین دستاورد این پژوهش تولید نرم افزار طراحی خودکار سوله است که طراحی سوله‌های هشتی و قوسی به هر دو روش تنش مجاز و عملکرد تنش پوسته‌ها را برای مهندسين آسان می‌سازد. وزن سوله‌ها از آن جهت که هزینه ساخت سوله به صورت وزنی محاسبه و اینکه این سازه در ابعاد بزرگ ساخته می‌شود حائز اهمیت است اما در پژوهش‌ها کمتر به بهینه سازی وزن این نوع سازه و به خصوص نوع قوسی آن پرداخته شده است. طراحی به روش عملکرد تنش پوسته‌ها و استفاده از الگوریتم ژنتیک، روشی است که می‌تواند تاثیر بسزایی در بهینه سازی وزن این نوع سازه داشته باشد. با مقایسه نتایج حاصل از بررسی ۷ سوله قوسی نتایج زیر حاصل می‌گردد.

- عملکرد تنش پوسته‌ها وزن سوله‌های قوسی را بیش از ۲۰ درصد کاهش می‌دهد.
- میزان تاثیر عملکرد تنش پوسته‌ها به عوامل زیادی وابسته است به طوریکه با تغییر ابعاد سوله و تغییر در انعطاف پذیری قاب، میزان کاهش وزن سوله تغییر خواهد کرد. در واقع در این نوع طراحی، دیافراگم سخت‌تر و قاب انعطاف پذیرتر سبب بهبود نتایج و کاهش بیشتر وزن می‌شود.
- بیشترین تاثیر تغییر ابعاد سوله مربوط به ارتفاع ستون است که با افزایش ارتفاع تاثیر این عملکرد بیشتر می‌شود، البته نه به این معنا که با افزایش هر چه بیشتر ارتفاع ستون می‌توان وزن سازه را کاهش داد بلکه با توجه به کاربری سازه در صورت نیاز به ستون‌های بلند، حذف تاثیر عملکرد تنش پوسته‌ها سبب غیر اقتصادی شدن بیشتر طرح می‌شود و تاثیر تغییر ارتفاع تا حدود ۱۰ درصد می‌باشد.
- افزایش دهانه سوله از تاثیر عملکرد تنش پوسته‌ای بیش از ۵ درصد می‌کاهد.
- افزایش تعداد قاب‌ها و تغییر طول سازه تاثیر زیادی بر این عملکرد ندارد و حداکثر ۱ یا ۲ درصد در کاهش بیشتر وزن موثر است.
- تغییر ضخامت ورق پوشش به اندازه ۰/۲ میلی‌متر حدود ۳ درصد در کاهش بیشتر وزن موثر خواهد بود.
- طبق بررسی نتایج حاصل از کنترل قیود، عملکرد تنش پوسته‌ها سبب افزایش مقاومت در برابر حرکت جانبی سازه می‌شود.

مراجع

- [1] Alavi, Seyyed Sadegh, (2013), *Applied reference modeling, Analysis, and design of gable frames in SAP*, Tehran, Noavar. (In Persian).
- [2] Allwood, R.J, Chung, Y.S , (1985), An optimality criteria method applied to the design of continuous beams of varying depth with stress, deflection and size constraints, *Computer and Structures*, 20(6), 947-954.
- [3] Tam, T.K.H, Jenning, A, (1988), Optimal plastic design of frames with tapered members, *Computer and Structures*, 30(3), 537-544.
- [4] Saka, M.P ,(2003), Optimum design of pitch roof steel frames with haunched rafter by genetic algorithm, *Computer and Structures*, 81, 1967-1978.
- [5] Mahdilotorkamani, Hamed, Habibi, Alireza, (2009), Optimized design of sloping steel frame with variable cross section, *First National Conference on Engineering and Management of Infrastructures*, Tehran, University of Tehran. (In Persian).
- [6] Goldberg, DE, (1989), *Genetic algorithm in search-Optimization and machine learning*, New york(USA), Addison Wesley Publishing Company.
- [7] McKinstary, Ross, Lim, James B.P, Tanyimboh, Tiku T., Phan, Douc T., Sha, Wei, (2015), Optimal design of long- span steel portal frame using fabricated beam, *Journal of Constructional Steel Research*, 104, 104-114.
- [8] Issa, Honar k., Mohammad, Fouad A, (2010), Effect of mutation schemes on convergence to optimum design of steel frames, *Journal of constructional steel Research*, 66, 954-961.
- [9] Brayon E.B , (1973), *The stressed skin design of steel Building* , Canstrado monographs, london , Crossby Locked Staples
- [10] *European ecommendation for the application of metal sheeting acting as a diaphragm-stressed skin design*, Technical committee 7- Thin walled, cold formed steel in building, Technical working 7.5- Practical improvement of design procedures, (1995).
- [11] Davies, J.Michael, (2006), Development stressed skin design, *Thin-Walled Structures*, 44, 1250-1260.
- [12] Franssen, J.M , (1984), Particular points of elastic analysis of clad pitched roof portal frame structures, *Thin-Walled Structures*, 2, 165-174.
- [13] Nagy, Z.N., Pop, A., Mois, I., Ballok, R., (2015), Stressed skin effect the elastic loading of Pitched roof Portal frames, *Eighth International Conference on Advances In Steel Structures*, Lisbon, Portugal.
- [14] Phan, D.T., Lim, J.B., Tanyimboh, T.T., Wrzesien, A.M, Sha, W., Lawson, R.M., (2015), Optimal deaign of cold-formed steel portal frames for stressed- skin action using genetic algorithm, *Engineering of Structures*, 93, 36-49.
- [15] *Publication No.360: Instruction for seismic rehabilitation of existing building*, (2007), Management and Planning Organization, Office of Deputy for Technical Criteria Codification and Earthquake Risk. (In Persian).
- [16] *Publication No.325: Terms of design and calculation of industrial steel building*, (2007), Management and Planning Organization, Office of Deputy for Technical Criteria Codification and Earthquake Risk. (In Persian).
- [17] Darcy, Greg, (2005), *Structural Behavioar of an Innovative Cold-formed Steel Building System*, A thesis submitted to the school of civil engineering queensland university of technology inpartial fulfilment of requirments for the degree of doctor Philosophy.
- [18] Abbas Naseri, Morteza, (2015), Multi-objective optimization of 2D and 3D truss structures with meta-heuristic swarm optimization algorithm, MSc Thesis, University of Yazd. (In Persian).
- [19] Zahraei, Banafsheh, Hosseini, Seyyed Mossa, (2014), *Genetic algorithm and engineering optimization*, Tehran, Gothenburg. (In Persian).
- [20] Grandhi, R.V., Venkayya, V.B , (1998), Sructural optimization with frequency constraints, *AIAA Journal*, 26(7), 858-866.
- [21] Azhari, Mojtaba, Mirghaderi, Seyyed Rasoul, (2011), *Design of steel structures (Volume II)*, Esfahan, Arkan Danesh. (In Persian).
- [22] INBC.(2008), *Design and construction of steel structures*, Tehran, Ministry of Housing and Urban Development, Iranian National Building Code, Part 10. (In Persian).
- [23] INBC.(2008), *Design loads for building*, Tehran, Ministry of Housing and Urban Development, Iranian National Building Code, Part 6. (In Persian).