

(یادداشت فنی)

ایده‌های جدید برای سازه‌های تاشوی قیچی سان با هندسه متغیر

مهدی بابایی*

عضو هیأت علمی دانشکده فنی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان

(تاریخ دریافت ۸۴/۷/۱۶، تاریخ تصویب ۸۵/۴/۳)

چکیده

در این مقاله پس از بررسی سیستم‌های تاشوی قیچی سان (پانتوگرافها)، روابط لازم برای طراحی هندسی این نوع سازه‌ها فرموله و ارائه شده است. تلفیق روشهای جبری با فرمولهای ارائه شده برای ایجاد هندسه‌های خاص و همچنین نحوه انطباق این سیستم بر اشکال هندسی خاص (با هر شکل و هندسه) بررسی شده و جزئیات اجرایی و اتصالات مورد نیاز برای ساخت ارائه گردیده است. برای تجسمی واقعی از طرح ارائه شده، پس از طراحی هندسی و سازه‌ای، یک نمونه چلیکی با هندسه ثابت و یک نمونه با هندسه متغیر ساخته شده است، که عملکرد مناسب آنها حاکی از صحت طراحی می‌باشد. با استفاده از فرمولاسیون هندسی این سازه‌ها، زیر برنامه‌هایی برای مدل‌سازی در نرم‌افزار ANSYS نوشته شده و تعدادی از سازه‌های چلیکی با دهانه‌های مختلف با ارتفاع‌های مختلف تحلیل خطی و غیرخطی هندسی شده و ارتفاع بهینه با هدف حداقل نمودن تغییرمکانها تعیین شده است.

واژه‌های کلیدی: سازه‌های فضاکار تاشو - طراحی هندسی - اتصالات - تحلیل غیرخطی هندسی

مقدمه

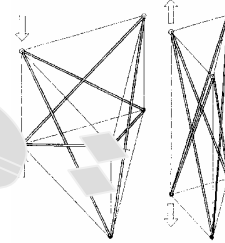
نقاط دوردست، گنبد‌ها یا چلیک‌های کروی و سهموی ثابت و یا متحرک، داربستها، قالب‌بندیها، اسکلت‌بندی برای سازه‌های دائمی، سرپناه بعنوان سایه‌بان یا محافظت در برابر بارندگی، انبارها، پوششها، مخازن و تعمیرگاههای سهل‌الحصول موقت یا دائمی، آنتن‌های بشقابی، بازوها و اندامهای رباتها، اردوگاههای سبک وزن موقت و سازه‌های تفریحی، دیوارهای جداکننده، پرده‌ها، قوسها و تیر و دیوارهای سازه‌ای، گلخانه‌ها و سایر فضاهای سرپوشیده مورد نیاز در کشاورزی، تئاترها و کنسرت‌های سیار، صنایع بسته‌بندی و صنایع اسباب‌بازی، ابزار و وسایل مکانیکی و صنعتی، اجزاء ایستگاههای فضایی، پانلهای خورشیدی، رادیاتورها، بالها و تیرکهای تاشو، سیستم‌های محافظ ضربه، رفلکتورها و آنتن‌های سهمی‌وار، واحدهای اسکان برای ایستگاههای فضایی.

برخی مزایای اصلی سازه‌های تاشوعبارتند از: پیش ساخته بودن و سهولت ساخت، قابلیت سرعت و سهولت در نصب، سهولت انتقال و انبار کردن، سبک بودن و کم حجم بودن در تاشو تا شده، قابلیت جمع‌آوری، انتقال و نصب مجدد به دفعات نامحدود، قابلیت استفاده در ابعاد و دهانه‌های مختلف، چند منظوره بودن، اقتصادی بودن و بالاخره سبز بودن.

نیاز به سازه‌های متحرک که بطور ساده و سریع نصب شده و قابل حمل و نصب مجدد در مکانهای مورد نیاز باشند، باعث پیدایش سازه‌های فضاکار تاشو^۱ شده است. خصوصیت بازشوندگی ممکن است تنها برای یکبار یا برای چندین بار استفاده شود. شبکه فضایی، در هر زمان که ساختمان ساخته (برپا) می‌شود، باز شده و سپس قبل از انتقال به انبار یا محل دیگر بصورت یک بسته فشرده شده، تا می‌شود؛ بطوریکه روند فوق می‌تواند برای چندین بار تکرار شود. از بین مطالعات فراوان سازه‌ها، متفکر و هنرمند دوره رنسانس، لئوناردو داوینچی (۱۵۱۹-۱۴۵۲) یک مکانیزم بازشوی ساده مسطح طراحی کرده است. سازه‌های سه بعدی از این نوع برای اولین بار توسط مهندس اسپانیایی امیلیو پرز پینرو (۱۹۷۲-۱۹۳۶) توسعه داده شده است [۱]. در سالهای بعد نظریه او توسط دیگران دنبال شد و بیش از همه توسط افرادی چون Calatrava Ziegler، Escrig، [۲] Valcarcel، [۳] Gantes، Hernandez، Shan، [۴]، [۵] Rosenfeld، [۶] و ... توسعه بیشتری یافت. برخی از کاربردهای مهم سازه‌های تاشو عبارتند از: سرپناه‌های اضطراری، پلهای اضطراری، جرثقیلها، پله‌ها، برجها و دکلهای بازشو و تاشو، ساختمانها و سرپناه‌های موقت در

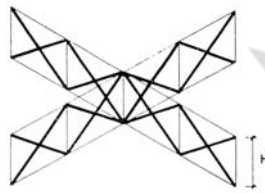
سازه‌های تاشوی قیچی سان^۲ (پانتوگراف)

سازه‌های X مجموعه‌هایی از قیچی‌های متعدد می‌باشند. هر کدام از اتصال قیچی بصورت نشان داده شده در زیر (شکل ۱) می‌باشد.

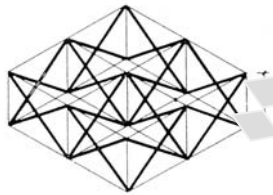


شکل ۱: اتصال قیچی سه بعدی.

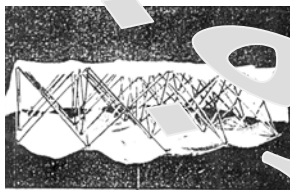
در سازه مانند شکل ۶، اگر یکی از آنها تغییر شکل یابد، دیگری همان شکل را به خود خواهد گرفت و این کار برای تغییر دادن ارتفاع H کل مجموعه، برای باز شدن یا فشرده شدن کل مجموعه کافی می‌باشد. با استفاده از این خصوصیت می‌توان یک ترکیب با تعدادی از این المانهای سطح بسازیم (شکل ۷). در بسیاری مواقع نیاز به یک پوشش سطح برای محافظت از باران، آفتاب یا باد می‌باشد که می‌تواند به خود سازه متصل شود. این پوشش‌ها معمولاً از پارچه می‌باشند (شکل ۸).



شکل ۶: پانتوگراف متقاطع.



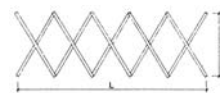
شکل ۷: پانتوگراف سه بعدی.



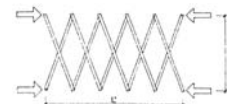
شکل ۸: تاسه پوشیده شده دو جداره.

بطور همزمان میله‌هایی با طولهای متفاوت و ... از مرکز را بکار بریم، گستره وسیعی از المانهای قیچی‌سان بدست می‌آید (شکل‌های ۹ تا ۱۳). سازه‌های پانتوگراف همساز^۳ و غیرهمساز^۴: سازه‌های پانتوگراف ممکن است بسته به روشی که دوپلت‌ها در مراحل مختلف تاشدن، تغییر شکل می‌یابند به دو گروه سازه‌های پانتوگراف همساز و غیرهمساز رده‌بندی می‌شوند. یک سازه پانتوگراف تاشو، همساز گفته می‌شود، در صورتیکه هیچ تغییر شکل داخلی در یونیت‌ها در هر مرحله از تاشدن وجود نداشته باشد، و در غیر اینصورت غیرهمساز نامیده می‌شود.

اگر این الگوها به یکدیگر متصل شوند، سازه‌های جابجایی هر قطعه فراهم شود، یک سیستم مختلطی که قادر است در یک یا دو یا سه جهت فضا رشد یابد، بدست می‌آید. المانهای سازه‌ای، میله‌هایی هستند که در انتهایشان به یکدیگر متصل شده‌اند و در یک گره میانی بصورت لولا به هم اتصال یافته‌اند (شکل ۲). هرگاه ارتفاع شکل افزایش یابد، طول آن کاهش می‌یابد و برعکس (شکل ۳). در ادبیات فنی این یک مکانیزم نامیده می‌شود، که کاربرد آن بعنوان یک سازه، معنی ندارد، زیرا حرکت‌های آن، آنرا برای تحمل بارها ناتوان می‌کند. اما اگر با استفاده از میله‌های اضافی یا تکیه‌گاهها، ارتفاع H یا طول L آنرا ثابت نگه داریم. (شکل‌های ۴ و ۵)، سپس این مجموعه قادر به مقاومت در برابر بارها خواهد بود.



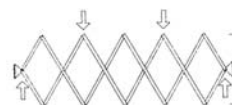
شکل ۲: پانتوگراف مسطح.



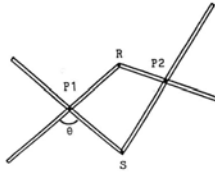
شکل ۳: تاشه در حال جمع شدن.



شکل ۴: تاشه تثبیت شده.



شکل ۵: تاشه بارگذاری شده.



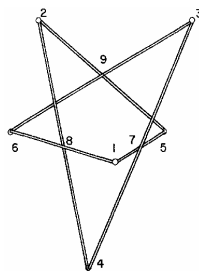
شکل ۱۴ - الف : دوپلت‌های مجاور.

ممکن است یونیپلت‌ها بصورت شکل ۱۴ - ب باشند. شرط لازم و کافی برای تاشدن و بازشدن سازه عبارتند از:

$$L_{1-8} + L_{4-8} = L_{1-7} + L_{4-7}$$

$$L_{2-8} + L_{6-8} = L_{2-9} + L_{6-9}$$

$$L_{3-7} + L_{5-7} = L_{3-9} + L_{5-9} \quad (۳)$$



شکل ۱۴ - ب: دوپلت‌های سه بعدی مثلثی.

فرمولاسیون کلی

باتوجه به محدودیت نرم افزار فرمین (Formian) [۷] برای ایجاد هندسه سازه‌های تاشو، در این مقاله فرمولاسیون هندسی بطور کامل انجام گرفته است. برای فرموله کردن هندسه در حالت کلی دو نوع دوپلت مستطیلی و دوزنقه‌ای در یک صفحه در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱۵). شکل (۱۶) مقطع یک سازه چلیکی یا گنبدی با قوس دایره و شکل (۱۷) یک سازه با انحنای اختیاری را نمایش می‌دهد. معادلات مربوط به هر دوپلت بصورت زیر می‌باشد [۱۲ و ۱۳]:

$$\beta_i = \pi/2 - b_i/2$$

$$\alpha_1 = b_0 + b_1/2, \quad \alpha_2 = b_0 + b_1 + b_2/2,$$

$$\alpha_3 = b_0 + b_1 + b_2 + b_3/2, \dots$$

$$O_1A + O_1B = O_2A + O_2B \quad \text{شرایط تاشوندگی:}$$

پارامترهای لازم برای معرفی هندسه عبارتند از:

S: زاویه مرکزی چلیک (مجموع کل زوایای b)

b: زاویه مرکزی هر دوپلت دوزنقه‌ای

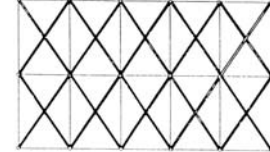
I: شعاع داخلی هر دوپلت دوزنقه‌ای

h: عمق سازه ای چلیک

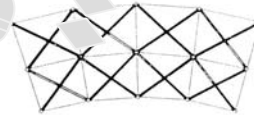
c: طول هر یونیپلت



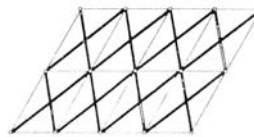
شکل ۹: پانتوگراف با هندسه آزاد.



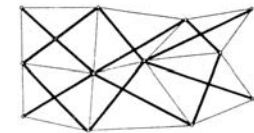
شکل ۱۰: پانتوگراف با واحدهای مستطیلی.



شکل ۱۱: پانتوگراف با واحدهای زوزنقه‌ای.



شکل ۱۲: پانتوگراف با واحدهای متوازی الاضلاع.



شکل ۱۳: پانتوگراف آزاد.

فرمولاسیون هندسی

دوپلت: واحد سازنده سازه‌های تاشوی پانتوگراف دوپلت نامیده می‌شود، که شامل دو یونیپلت می‌باشد که توسط یک لولا به هم متصل شده‌اند (شکل ۱۴ - الف). هر یونیپلت آزادانه حول محور چرخشی لولا و مفصل‌های متصل شده به انتهایش قابلیت دوران دارد. دوپلت‌ها می‌توانند مستطیلی، دوزنقه‌ای و لوزی باشند که هر جفت مجاور، رابطه زیر را ارضاء می‌کند (شرط تاشوندگی):

$$P1R + P1S = P2R + P2S \quad (۱)$$

که P1R و P1S و P2R و P2S به ترتیب طول یونیپلت‌های نشان داده شده می‌باشند.

حال اگر به تعداد n دوپلت ($n \geq 2$) به گره‌های R و S از شکل فوق وصل شود، شرایط قابلیت تاشوندگی را می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$P_1R + P_1S = P_2R + P_2S = \dots = P_iR + P_iS \quad (۲)$$

که در آن P_i لولای^۵ دوپلت i ام و R و S اتصال مفصلی دوپلت i ام و $(i+1)$ ام است.

تلفیق روشهای جبری با فرمولاسیون هندسی

با کنار هم قرار دادن دوپلتهای مستطیلی، شکل حاصل سطح تخت خواهد بود. و در صورتیکه از دوپلتهای دوزنقه‌ای نیز استفاده شود، شکل ایجاد شده از حالت مسطح خارج شده و انحناء پیدا خواهد کرد. بدیهی است در صورتیکه دوپلتهای مجاور یکدیگر از نظر شکل دارای نظم و الگوی خاصی باشند، شکل کل ایجاد شده نیز تابع الگوی خاصی خواهد بود. برای این منظور به روشهای مختلفی می‌توان الگوی خاصی را پیاده‌سازی کرد. می‌توان این الگوسازی را برای محل لولاهای میانی (L_1 یا L_2)، طول اعضای واحدها (C)، شعاع قوس دوپلتهای (r)، ضخامت سازه‌های (h) و یا پارامترهای هندسی دیگر پیاده سازی نمود. تقسیم بندی منظم زاویه مرکزی کل بین دوپلتهای یکی دیگر از روشهای الگوسازی می‌باشد، که در زیر بررسی شده است.

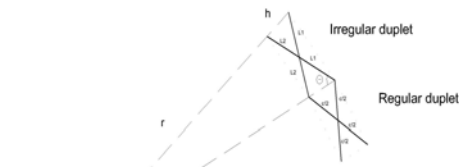
با معلوم بودن S (زاویه مرکزی کل) که همان مجموع زوایای داخلی دوپلتهای می‌باشد ($S = \sum_{i=1}^n b_i$)، و همچنین با مشخص بودن n (تعداد دوپلتهای بکار رفته در ایجاد قوس)، می‌توان با تقسیم بندی مناسب زاویه مرکزی کل بین دوپلتهای به کمک روشهای جبری به هندسه و شکل خاصی دست یافت. در واقع با استفاده از جبر توانسته‌ایم هندسه خاصی ایجاد کنیم. شکل‌های (۱۸) تا (۲۱) سازه‌های تاشوی ایجاد شده با تقسیم بندی زاویه مرکزی به ترتیب به صورت یکسان، تصاعد حسابی، تصاعد هندسی و معادلات جبری را نشان می‌دهند، که در زیر بیان می‌شوند.

تقسیم بندی یکسان :

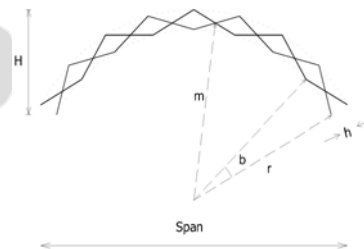
$b_1 = b_2 = b_3 = \dots = b_n = \frac{S}{n}$
 اگر $S = 90^\circ$ و $n=3$ باشد (شکل ۱۸)، خواهیم داشت :
 $b_1 = b_2 = b_3 = \frac{90}{3} = 30^\circ$

استفاده از تصاعد حسابی :

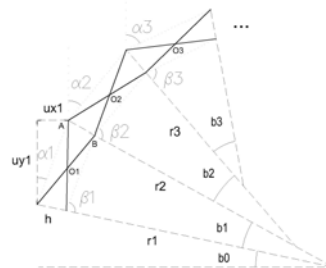
$b_1, b_1 + t, b_1 + 2t, b_1 + 3t, \dots, b_1 + (n-1)t$
 $S = \frac{n(b_1 + b_n)}{2}$ یا $S = \frac{n}{2}[2b_1 + (n-1)t]$
 اگر $S = 90^\circ$ و $n=3$ و $t = 15^\circ$ باشد (شکل ۱۹)، بعلاقتقارن، برای نصف قوس داریم :
 $b_1 = 15^\circ, b_2 = 30^\circ, b_3 = 45^\circ$



شکل ۱۵: دوپلتهای مستطیلی و دوزنقه‌ای در یک صفحه.



شکل ۱۶: چلیک با انحنای دایره‌ای.



شکل ۱۷: دوپلتهای دوزنقه‌ای با انحنای اختیاری.

از بین چهار پارامتر c, h, b, r سه پارامتر باید انتخاب شود. با انتخاب یا فرض سه پارامتر، پارامتر چهارم تعیین می‌شود. با معلوم بودن سه پارامتر c, h, b مقدار r بصورت زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$r = \frac{\sqrt{c^2 - h^2 \cos^2(b/2)} - h}{2 \sin(b/2)}$$

پارامترهای دیگر عبارتند از:

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{r}{c} \sin b\right), \quad m = (r+h) \frac{\sin \theta}{\sin(\theta + b/2)}$$

$$L_1 = (r+h) \frac{\sin(b/2)}{\sin(\theta + b/2)}, \quad L_2 = c - L_1$$

دهانه و ارتفاع کل سازه بصورت زیر محاسبه می‌شود:

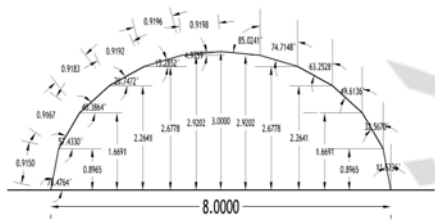
$$Total \ span = \sum ux = \sum_{i=1}^n [2(r_i + h) \sin(b_i / 2) \sin \alpha_i]$$

$$Total \ height = \sum uy = \sum_{i=1}^n [2(r_i + h) \sin(b_i / 2) \cos \alpha_i]$$

($n = \text{number of duplets}$)

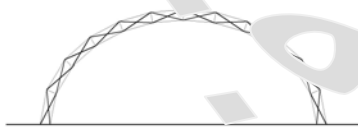
جهت سهولت در امر طراحی هندسی این نوع سازه‌های تاشو، برنامه کامپیوتری مربوطه تهیه شده است.

(شکل) کلی سازه را دیکته کند. در اینصورت به نحو مناسبی می توان سازه تاشویی را بر هندسه موردنظر منطبق نمود. به عنوان مثال اگر هندسه مورد نظر یک نیم بیضی باشد، می توان با تدابیر خاصی سازه تاشو به شکل نیم بیضی ایجاد کرد. برای یک نیم بیضی به دهانه ۸ متر و ارتفاع ۳ متر با فرض $S = 90^\circ$ و $n=6$ که دارای محور تقارن است این کار انجام گرفته است. برای این منظور یک نیم بیضی به اقطار ۸ و ۶ متر ترسیم می گردد (شکل ۲۲).

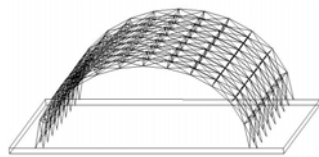


شکل ۲۲: تقسیم بندی بیضی.

به این ترتیب یک سازه تاشو بر یک قوس با انحنای بیضی منطبق گردید. شکل (۲۳) چنین قوسی را نشان می دهد. بطوریکه در شکل‌های (۲۴ و ۲۵) دیده می شود، از این قوس می توان سازه چلیکی با قوس بیضی و سازه گنبدی با قوس بیضی ایجاد نمود.



شکل ۲۳: سازه تاشو با قوس بیضی.



شکل ۲۴: سازه تاشوی چلیکی با قوس بیضی.



شکل ۲۵: سازه تاشوی گنبدی با قوس بیضی.

اتصالات و جزئیات اجرایی

سهولت اجراء، قابلیت بازیافت مصالح، تنوع در تولید، کاهش هزینه تولید، ارزشهای کیفی و زیباشناسانه و

استفاده از تصاعد هندسی:

$$b_1, b_1q, b_1q^2, \dots, b_1q^{n-1}$$

$$S = \frac{b_1 - qb_n}{1 - q} \quad \text{یا} \quad S = \frac{b_1(1 - q^n)}{1 - q}$$

اگر $S = 90^\circ$, $n = 3$, $q = 2$ فرض شود (شکل ۲۰)، برای نصف قوس داریم: $b_1 = 12.86^\circ$, $b_2 = 25.71^\circ$, $b_3 = 51.43^\circ$ استفاده از معادلات جبری: ساده ترین معادله جبری، یک جمله ای درجه k می باشد. بنابراین خواهیم داشت:

$$b_i = ax_i^k, S = \sum_{i=1}^n b_i = \sum_{i=1}^n (ax_i^k)$$

در صورتیکه رابطه بین x_i ها را تعریف نماییم (فرضی و اختیاری است) و همه آنها را بر حسب یک پارامتر مشترک تعریف کنیم، به کمک روابط فوق می توان زاویه مرکزی کل را به تعداد لازم تقسیم بندی نمود.

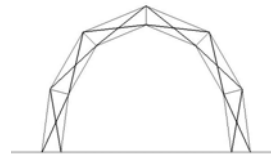
اگر $S = 90^\circ$ و $n = 3$ و $k = 2$ و $a = 1$ فرض شود و رابطه بین x_i ها بصورت $x_i = ix_1$ فرض شود (شکل ۲۱)، به علت تقارن برای نیم قوس داریم:

$$b_1 = 6.43^\circ, b_2 = 25.71^\circ, b_3 = 57.86^\circ$$

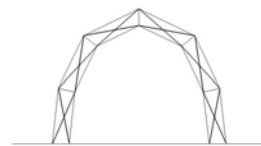
$$(x_3 = 3x_1, x_2 = 2x_1, x_1 = x_1)$$



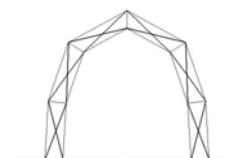
شکل ۱۸: تقسیم بندی یکسان.



شکل ۱۹: تقسیم بندی با تصاعد حسابی.



شکل ۲۰: تقسیم بندی با تصاعد هندسی.



شکل ۲۱: تقسیم بندی با معادلات جبری.

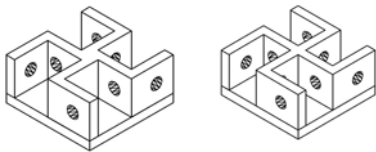
انطباق سازه تاشو بر شکل‌های هندسی خاص

در ایجاد سازه های تاشو ممکن است معماری بنا، هندسه

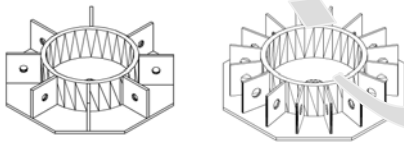
از المانهای سازه تاشو می‌توان در پروژه‌های مختلف استفاده کرد که به نفع اقتصاد است.

- المانهای سازه تاشو با استفاده از این قطعه تقویت می‌شوند. یعنی در محاسبات می‌توان اثر افزایش مقطع در محل اتصال میانی را به حساب آورد (عضو با مقطع متغیر). زیرا این مقطع از نظر نیروهای داخلی بحرانی‌ترین محل اعضاء سازه می‌باشد.

اتصال انتهایی: اگر تعداد واحدها ۴ یا کمتر باشد، می‌توان از یکی از اتصالات شکل (۲۸) استفاده نمود و اگر بیش از ۴ واحد به یکدیگر متصل شوند (سازه‌های گنبدی) می‌توان از اتصال شکل (۲۹) استفاده نمود.



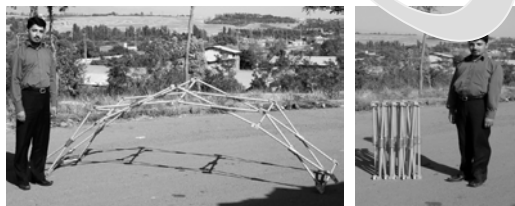
شکل ۲۸: نمونه اتصال انتهایی برای سازه‌های تخت و چلیکی.



شکل ۲۹: نمونه اتصال انتهایی برای گنبدها.



شکل ۳۰: سازه تاشوی چلیکی، در حالت‌های تاشده و باز شده.

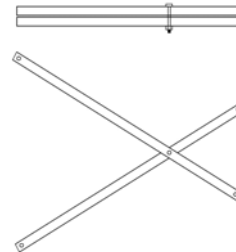


شکل ۳۱: سازه تاشو با هندسه متغیر، در حالت‌های تاشده و باز شده.

نمونه‌های ساخته شده

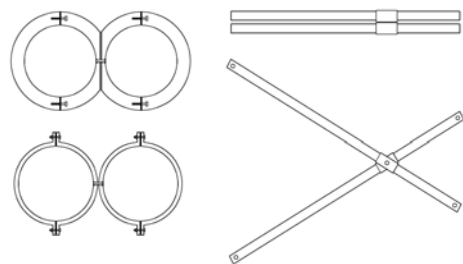
تصاویر ارائه شده، نمونه‌های ساخته شده با استفاده از فرمولاسیون و اتصالات پیشنهاد شده را نشان می‌دهند. نمونه اول یک سازه تاشوی چلیکی با قوس غیر دایره و نمونه دوم یک سازه تاشو با هندسه متغیر را نشان می‌دهد.

امکان استفاده متنوع از طرح، از خصوصیات مطلوب معماری صنعتی می‌باشد. با توجه به نیاز مبرم به تولید انبوه در جوامع کنونی، رسیدن به این هدف تنها در صورت طراحی صنعتی امکان‌پذیر است. بدین منظور اتصالات زیر برای سازه‌های تاشو پیشنهاد می‌شوند [۱۳]. اتصال میانی: می‌تواند بصورت پیچ یا پرچ باشد (شکل ۲۶).



شکل ۲۶: اتصال میانی نوع اول.

نوع دیگر اتصال میانی استفاده از قطعه خاصی می‌باشد، بطوریکه هر یونیت را در محل مورد نظر لولا احاطه می‌کند. به این ترتیب که بدون سوراخکاری اعضاء (بدون تضعیف عضو و بلکه تقویت آن در محل بحرانی خمش)، امکان ایجاد اعضای قیچی‌سان فراهم می‌شود. با جابجا نمودن این قطعات و انتقال آنها به محل مورد نظر، شکل سازه پس از باز شدن تغییر خواهد کرد (شکل ۲۷). این قطعه می‌تواند از فولاد، آلومینیوم، پلاستیک، مواد کامپوزیتی و یا مصالح سبک دیگر تهیه گردد.



شکل ۲۷: نما و مقطع اتصال میانی برای اعضای لوله‌ای.

مزایای این نوع اتصال عبارتند از:

- در این اتصال هیچگونه سوراخکاری روی اعضاء انجام نمی‌گیرد و در نتیجه در محل اتصال میانی که حداکثر لنگر خمشی وجود دارد، اعضای سازه تضعیف نمی‌شوند.

- قدرت مانور برای چند شکلی کردن یا تغییر دادن شکل هندسی کل سازه، فوق‌العاده افزایش می‌یابد و

ها، حداقل می باشد و ثانیاً تغییر مکانهای خطی و غیرخطی ایجاد شده در آن ارتفاع خاص، حداقل می باشند (ارتفاع بهینه). شکل (۳۳) این نسبت را برحسب تغییرات دهانه نشان می دهد.

نتیجه گیری

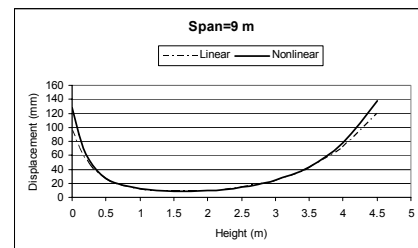
در این مقاله پس از بررسی سیستم‌های تاشوی قیچی‌سان، روابط لازم برای طراحی هندسی این نوع سازه‌ها با هر قوس دلخواه فرموله و ارائه شده است. روش انطباق این سیستم بر اشکال هندسی خاص بیان شده و جزئیات اجرائی و اتصالات لازم برای اولین بار ابداع و ارائه شده‌اند، بطوریکه می‌توان سازه‌ای با هندسه متغیر ایجاد نمود. نمونه‌های ساخته شده هم برای سازه‌های با هندسه ثابت و هم برای سازه‌های با هندسه متغیر نشان دهنده صحت فرمولاسیون و عملکرد مناسب این سازه‌ها در مقیاس واقعی می‌باشند. به منظور تعیین مناسب ترین هندسه برای قوسهای چلیکی، تحلیلهای خطی و غیرخطی هندسی برای چلیکهای با دهانه ۳ تا ۱۲ متر با شکلهای مختلف (از سطح تخت تا چلیک نیم‌دایره) به کمک نرم‌افزار ANSYS انجام گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که اختلاف تغییر مکانهای حداکثر خطی و غیرخطی در یک ارتفاع خاص در مقایسه با دیگر ارتفاع ها، حداقل بوده و مقدار عددی تغییر مکانهای خطی و غیرخطی ایجاد شده در آن ارتفاع خاص، حداقل می‌باشند.

تشکر و قدردانی

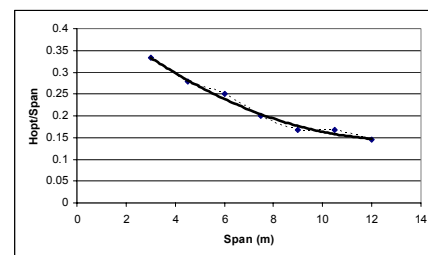
نویسنده مقاله بر خود لازم می‌داند که به خاطر راهنمایی‌های ارزنده و مفید استاد گرانددر پروفیسور علی کاوه تشکر و سپاسگزاری نماید. همچنین به خاطر ترغیب و راهنمایی‌های آقای دکتر چاریس گنتز [۶-۱۷] تشکر و قدردانی می‌گردد، و امید است که این کار، گامی در جهت توسعه و اعتلای هر چه بیشتر میهن اسلامیمان گردد.

بهینه سازی سازه‌های تاشو

ارتفاع بهینه چلیک که تغییر مکان سازه با آن ارتفاع نسبت به ارتفاع های دیگر حداقل می‌باشد، می‌تواند در طراحی و انتخاب پارامترهای هندسی مفید باشد. زیرا با توجه به اینکه بارهای خارجی ثابت بوده و تنها با تغییر ارتفاع چلیک، حالتی پیش می‌آید که در آن مقدار تغییر مکان‌ها حداقل می‌باشند و با توجه به رابطه $P=KU$ این بدان مفهوم است که سختی سازه باید مقدار بزرگی داشته باشد. به بیان دیگر، سازه در یک هندسه خاص سختی زیادی از خود نشان می‌دهد، بنابراین انتخاب هندسه بر این اساس گامی در جهت بهینه‌سازی می‌باشد. بدین منظور سازه‌های چلیکی با ارتفاع های مختلف تحت اثر بار ثابت، بصورت خطی و غیرخطی هندسی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS تحلیل شده‌اند [۸-۱۱]. به منظور همگرایی جوابها، تحلیلهای غیرخطی هندسی به روش کنترل جابجائی انجام گرفته‌اند.



شکل ۳۲: دیاگرام جابجائی حداکثر گرهی - ارتفاع چلیک



شکل ۳۶: نسبت ارتفاع بهینه به دهانه - دهانه.

شکل (۳۲) تغییر مکانهای حداکثر سازه با آنالیزهای خطی و غیرخطی را بر حسب تغییرات ارتفاع چلیک برای دهانه ۹ متر نشان می‌دهند. برای هر دهانه مشاهده می‌شود که: اولاً اختلاف تغییر مکانهای حداکثر خطی و غیرخطی در یک ارتفاع خاص در مقایسه با دیگر ارتفاع

مراجع

- 1 - Chiltion, J. (2002). *Space Grid Structures*, Prentice Hall.
- 2 - Valcarcel, J. P., Escrig, F., Vazquez, J. A. and Domínguez, E. (2002). "Computer design of expandable structures." *Space Structures* 5, Thomas. Thelford, London, PP. 1583-1592.

- 3 - Escrig, F. and Valcarcel, J. P. (1993). "Geometry of expandable space structures." *Int. J. of Space Structures*, Vol. 8, No. 182, PP. 71-84.
- 4 - Gantes, C., Logcher, R. D. and Connor, J. J. (1993). "Deployability conditions for curved and flat, polygonal and trapezoidal deployable structures." *Int. J. of Space Structures*, Vol. 8, No. 182, PP. 97-106.
- 5 - Shan, W. (1990). "Foldable space structures." *A Thesis Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy*, University of Surrey.
- 6 - Rosenfeld, Y. and Logcher, R. D. (1988). "New concepts for deployable collapsible structures." *Int. J. of Space Structures*, Vol. 3, No. 1, PP. 20-32.
- 7 - Nooshin, H. (1984). *Formex configuration of processing in structural engineering*. Elsevier Applied Science Publishers.
- 8 - Wong, M. B. and Tin-Loi, F. (1990). "Geometrically nonlinear analysis of elastic framed structures." *J. of Computer & Structures*, Vol. 34, No. 4, PP. 633-640.
- 9 - Ragavan, V. and Made, A. M. (2001). "An algorithm for nonlinear stability analysis of an expandable self-erecting structure." *J. of Computers & Structures*, Vol. 79, PP. 2587-2593.
- 10 - Yang, Y. B. and Kuo, S. R. (1994). *Theory & Analysis of Nonlinear Framed Structures*. Prentice Hall.
- 11 - ANSYS Help, *Analysis Guide & Theory Manual*.

۱۲ - بابایی، م. "تحلیل غیرخطی هندسی سازه های تاشوی قیچی سان." پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، (۱۳۸۲).

۱۳ - بابایی، م. "طراحی و ساخت سازه های تاشو با شکل و هندسه دلخواه." ثبت اختراع، اداره ثبت شرکتها و مالکیت صنعتی، ایران، (۱۳۸۴).

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Foldable Space Structures
- 2 - Scissor-Like Foldable Structures
- 3 - Compatible Structures
- 4 - Incompatible Structures
- 5 - Pivot