



ارزیابی رفتار چلیک های تاشو قیچی سان تحت بارهای لرزه ای بر اساس سطوح عملکرد

رضا ملائی¹، محمد حسین نوری قیداری²، سمیه ملائی³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، گرایش خاک و پی دانشگاه آزاد اسلامی زنجان، ایران

mollaei.reza585@gmail.com

2- استاد پار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد زنجان، ایران

noorigheidari@gmail.com

3- دانشجوی دکتری سازه، دانشگاه کردستان، ایران

mollaei.s@gmail.com

چکیده

یکی از مهمترین انواع سازه های فضاکار، سازه های فضاکار تاشو است. غیر از کاربردهای متعارف، هرگاه سازه هایی متحرک که به طور ساده و سریع قابل حمل و نصب در مکان مورد نظر نیاز باشد، از سازه های فضاکار تاشو می توان استفاده کرد. یکی از مهمترین سازه های تاشو که مورد علاقه مهندسان معمار و سازه است، چلیک های تاشو قیچی سان می باشد. در این مطالعه، رفتار چلیک های فضاکار تاشو قیچی سان با زاویه بازشدگی متغیر، در برابر نیروهای قائم و افقی زلزله مطالعه شده است. براساس نتایج به دست آمده اثر زلزله به خصوص مؤلفه قائم آن در طراحی این سازه ها غیرقابل صرفنظر کردن است. با افزایش زاویه بازشدگی، وزن سازه سنگین تر می شود اما در زاویه حدود 90 درجه، طراحی سازه و وزن واحد سطح آن بهینه تر است. در زوایای بیش تر، طرح سازه غیراقتصادی می شود.

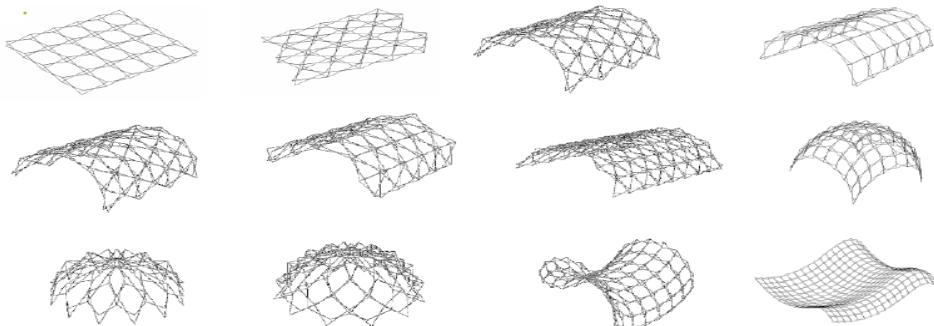
واژه های کلیدی: سازه فضاکار تاشو قیچی سان، چلیک، رفتار لرزه ای، سطح عملکرد.

1. مقدمه

یکی از زمینه های پیشرفت سازه های فضاکار، حوزه سازه های تاشو و قابل گسترش است. این سازه ها می تواند به صورت فشرده ساخته شده و به فضای خارجی منتقل شود، سپس در زمان لازم گسترش یابد. قابلیت گسترش ممکن است بر پایی یک ساختمان دائم یا سازه تکیه گاهی را تسهیل کند [2]. برخی از کاربردهای مورد انتظار برای انواع سازه های تاشو عبارتند از [13]: سرپناه های اضطراری، پل های اضطراری، ساختمان ها و سرپناه ها در نقاط دوردست و صعب العبور، پوشش ورزشگاه ها یا سینما، تراس های تابستانی و زمستانی، فروشگاه ها یا نمایشگاه های موقت یا دائمی و یا هر مورد دیگری که به پوشش های متحرک یا ثابت دائمی یا موقت نیاز باشد،



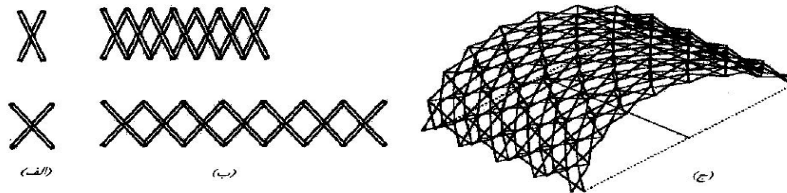
سرپناه های محافظ موقتی در عملیات راه سازی، انبارها، مخازن و تعمیرگاه های سهل الحصول موقت یا دائمی، جرثقیل ها، پله ها، برج ها و دکل های بازشو و جمع شونده، داربست ها، قالب بندی ها، اسکلت بندی یا آرماتوربندی برای سازه های دائمی، سرپناه به عنوان سایه بان یا محافظت در برابر بارندگی، آنتن های مخابراتی بشقابی یا میله ای، اردوگاه های سبک وزن و سازه های تفریحی، دیوارهای جداکننده یا سازه ای، سیرک ها و نمایش های سیار، بازوها و اندام ربات ها، ابزار و وسایل مکانیکی و صنعتی. ایده اولیه مربوط به این سازه ها توسط لئوناردو داوینچی (قرن 15 میلادی) مطرح شد. از لحاظ مطالعه تئوری مکانیزم های تاشو، در قرن 19 میلادی افرادی چون Sarrus و Bricard و در اوایل قرن بیستم Bennett از پیشگامان این امر محسوب می شوند [7]. در اوایل دهه 1960 مهندس اسپانیایی Emilio Perez Pinero شبکه های فضاکار تاشو سه بعدی به معنای امروزی را طراحی و ثبت کرد. او سازه قابل گسترشی را به کمک مکانیزم قیچی طراحی کرده بود. در پی تصمیم دولت ایالات متحده آمریکا در سال 1980 برای تاسیس یک پایگاه فضایی، NASA هزینه تحقیق در خصوص سازه های باز و بسته شونده را فراهم کرد. Pellegrino Sergio از دانشگاه کمبریج حلقه ای را ساخت که قابل گسترش است. Miura Koryo با همکاریانش از سازمان فضایی و هوانوردی ژاپن توانسته اند اصول پیچیده ریاضی را با هنر اوری گامی ترکیب نموده و به سطوح قابل گسترش دست یابند [12]. بعدها افرادی چون Rosenfeld, Shan, Gantes, Ziegler, Calatrava, Valcarcel, Escrig, Hernandez دیگری برای گسترش این سازه ها ارائه دادند [2]. در دانشگاه های ماساچوست و آتن نیز تحقیقات وسیعی توسط Gantes در طول دهه 90 میلادی انجام یافت که در نتیجه بسیاری از ایده های تئوری معرفی شده در سال های قبل، به طرح های عملی تبدیل شده است [5].



شکل 1: انواع فرم های سازه ای تاشو با المان های قیچی سان [11]

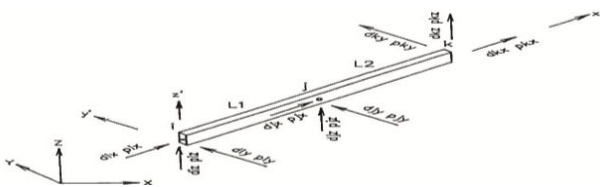
مهم ترین نوع پذیرفته شده سازه های تاشو، انواع مبتنی بر اتصالات قیچی سان (SLE) می باشد که شبکه های مختلفی با مدول های مثلث متساوی الاضلاع، مربعی و شش گوش را فراهم می آورد. در این سازه ها واحد تاشونده پایه، از دو عضوی که در وسط یا نزدیکی وسط طول به یکدیگر متصل شده و مکانیزم قیچی را به وجود می آورد، ساخته می شود. سپس انتهای اعضای چندین مکانیزم قیچی ممکن است به صورتی از پیش تعریف شده، به منظور تشکیل فرم یک خرابای گسترده به یکدیگر متصل شود. اگر یک سری از این مجموعه های مسطح توسط

مکانیزم های شبه قیچی مایل به یکدیگر متصل شود، یک شبکه سه بعدی تاشو به دست می آید [2]. همان طور که در شکل 2 نشان داده شده است.



شکل 2: سازه های قابل گسترش: (الف) مکانیزم پایه "قیچی". (ب) اتصال "قیچی" شبه خرپا (ج) شبکه طاق گهواره ای تا شونده سه بعدی

از نظر هندسی، ایده کلی این نوع از سازه ها مبتنی بر این است که جفت هایی از اعضای میله ای در یک نقطه به هم متصل شده به طوری که هر عضو اجازه چرخش حول محور عمود بر صفحه خود را دارد و سایر درجات آزادی گره، مقید شده است. هر دو سر عضو به یک گره قیچی سان با تعریف فوق متصل بوده و کل سازه در زمان جمع و یا گسترده شدن دارای تنها یک درجه آزادی است [7]. این نوع واحدهای تاشو دو عضوی به دوپلت و هر یک از دو عضو سازنده هر واحد به یونپلت معروف است. در شکل 3 یک یونپلت با درجات آزادی آن و بارهای گرهی نشان داده شده است.

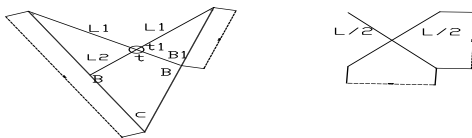


شکل 3: درجات آزادی یک یونپلت [1].

اولین مطالعات انجام شده به منظور شناخت رفتار سازه های تاشو توسط Escrig و Valcarcel انجام شد. بعدها افرادی چون Zeigler, Derus, Nodsko, Gantes, Rosenfield, Shan در طول دهه 70 و اوایل دهه 80 میلادی، Kane معادله دینامیکی جدیدی برای مطالعه رفتار دینامیکی سازه های تاشو، به کار رفته در فضاپیماها، معرفی کرد [6]. این معادله در برخورد با ارتعاشات فضاپیما در فضا بوده و می توان از آن در تولید معادله دینامیکی حاکم، استفاده کرد [6]. در سال 1974، Huston معادله Kane را اصلاح کرده و به نام معادله هاستون-کین منتشر کرد. Jalon (1981) و Bayo (1991) از روش FCC جهت تولید مختصات در مکانیزم های سه بعدی استفاده کردند [6]. Joshi و Kelkar در سال 1996، مدلی ساده با قابلیت انتخاب هوشمند دستگاه مختصات، جهت مدل سازی ارتعاشات آنتن های ماهواره ای تاشو، معرفی کردند [8]. Gantes, Connor, Logcher برای تحلیل انواع سازه های SLE روش های سیستماتیک ارائه کرده اند [3].

2. مدل‌های هندسی مورد مطالعه

برای تولید داده‌های لازم جهت ایجاد هندسه سازه، روش‌های مختلفی وجود دارد که عبارت است از: الف- تئوری گراف‌ها، که به بررسی خصوصیات اتصالاتی اعضا در گره‌ها می‌پردازد. ب- روش مجموعه‌ها، که با استفاده از خواص مجموعه‌ها مثل اجتماع و اشتراک و مفاهیم هندسی مثل دوران و تبدیل، خصوصیات یک تاشه بیان می‌شود. ج- روش جبر فورمکسی، که در سال 1975 توسط دکتر هشیار نوشین ابداع شد. که مبنای پیدایش نرم افزار فرمین که یک زبان برنامه نویسی برای تولید و تغییر هندسه سازه‌های فضاکار است، گردید. به‌طور کلی، فرآیند تاشه‌پردازی برای سازه‌های تاشو، بدون استفاده از روش‌های ایجاد خودکار، بسیار مشکل و زمان‌بر است. مهم‌ترین گام یافتن ابزار است که برای تولید هندسه‌های پیچیده، مناسب باشد. پس برنامه کامپیوتری لازم، بایستی توان داده‌آمایی برای تحلیل سازه‌های بزرگ با تعداد زیاد اعضا را داشته باشد. برنامه‌ای که در اینجا جهت تولید هندسه مدل‌های مورد نظر به کار می‌رود، برنامه FORMIAN می‌باشد. اصول اولیه کار با فرمین ساده بوده و از تعریف‌های نقطه، المان خطی و المان صفحه‌ای در دستگاه مختصات نرمت (که لزوماً متعامد نیست) تشکیل شده است. یک فرمکس، ترکیبی از نقاط، اعضا و صفحات است و به کاربر اجازه تولید انواع سازه‌ها شامل این سه جزء را می‌دهد. داده‌های ورودی تولید شده در فرمول بندی فورمکسی را می‌توان از طریق برنامه فرمین در برنامه‌های تحلیلی متنوعی مانند ABAQUS, LUSAS, SAP 2000 مورد استفاده قرار داد. در شکل 4 پارامترهای هندسی به کار رفته در تولید هندسه هر دوپلت دوزنقه‌ای نمایش داده شده است. در این شکل، C زاویه مرکزی دوپلت، B زاویه کنترل، L1 و L2 به ترتیب طول قسمت‌های بالا و پایین هر یونیت، D ارتفاع لایه چلیک و R شعاع قوس بالایی آن است. t زاویه بازشدگی دوپلت می‌باشد. دوپلت دوزنقه در عرض چلیک (برروی قوس) و دوپلت مستطیلی در طول آن به کار می‌رود.



شکل 4: دوپلت دوزنقه‌ای و مستطیلی [10]

مشخصات مدل‌های چلیکی مورد نظر در جدول 1 آورده شده است. مشاهده می‌شود که مدل‌ها شامل یک نوع چلیک با زاویه بازشدگی متغیر می‌باشد.

جدول 1 مدل‌های چلیک تاشو

ردیف	نام مدل	تعداد دوپلت عرضی	تعداد دوپلت طولی	زاویه t		شعاع (متر)	دهانه (متر)	ارتفاع (متر)	عمق لایه (متر)
				عرضی	عرضی (درجه)				
1	br1	20	10	70	17/17	19/68	31/62	7/96	2/46
2	br2	20	10	80	19/24	18/41	33/11	10/35	2/3

3	br3	20	10	90	21/16	17/01	33/05	12/97	2/13
4	br4	20	10	100	22/93	15/48	30/95	15/71	1/93

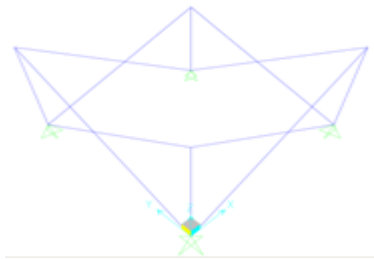
3. مدل اجزاء محدود

مقاطع طراحی، به صورت مقاطع قوطی مربعی طبق DIN EN 10210-1 انتخاب می‌شود. فولاد با تنش تسلیم $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$ ، مدول الاستیسیته $E = 2.01 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ، تنش تسلیم مؤثر $F_{ye} = 3790 \text{ kg/cm}^2$ و وزن واحد حجم $\gamma = 7.83 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$ استفاده شده است. طراحی بر اساس آئین‌نامه AISC-ASD89 بوده و فاکتور افزایش تنش مجاز در ترکیب باری که بار باد یا زلزله دارد، برابر $1.33 = 4/3$ است.

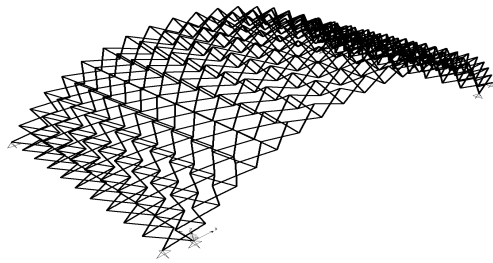
در بارگذاری مدل‌ها، بار مرده $dead=30 \text{ kg/m}^2$ ، بار برف مینا $snow=150 \text{ kg/m}^2$ ، سرعت پایه باد منطقه $V=35 \text{ m/s}$ ، ضریب اهمیت ساختمان $I=1.2$ ، شتاب مبنای طرح $A=0.35$ ، ضریب رفتار $R=4$ ، ضریب بازتاب $B=2.5$ و زمین نوع 2 بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران و ناحیه زون C براساس آئین-نامه بارگذاری ANSI-82 انتخاب شده است. در تعیین وزن مؤثر سازه در زلزله کل بار مرده و بار برف در نظر گرفته شده است. در سازه‌های فضاکار برای سازه‌هایی که برای سقف استفاده می‌گردد سربار زنده در نظر گرفته نمی‌شود [9]. بنابراین، بار زنده در مدل‌ها فقط بار برف بوده و همچنین در تعیین وزن کل ساختمان، کل بار مرده به اضافه کل بار زنده (برف) در نظر گرفته می‌شود. علت این امر سبک بودن این نوع سازه‌ها و در نتیجه نسبت بالای بار برف به بار مرده سازه فضاکار است. به گونه‌ای که بار برف می‌تواند تا دو برابر بار مرده یک سازه فضاکار برسد [15].

در تحلیل سازه‌های فضاکار تاشو، وجود گره‌های لولایی در میان المان‌های قیچی‌سان یکی از چالش‌های اساسی است. در اکثر نرم افزارهای آنالیز سازه‌ها، گره‌های قابل معرفی در سازه مفصلی، صلب و یا فبری می‌باشد. در حالی که در سازه‌های تاشو، گره‌های میانی المان‌های قیچی‌سان مانند اتصال لولای یک قیچی عمل می‌کند. رفتار کاملاً سه بعدی سازه‌های تاشو قیچی‌سان و همچنین وجود دوران‌های بزرگ در محل گره‌های لولایی، دو تفاوت اساسی در تحلیل این نوع سازه‌ها در مقایسه با قاب‌ها و خرپاهای معمولی است [4]. مطالعات نشان داده است که مدل‌سازی یک یونپیت به صورت دو المان ایزوپارامتریک تیر دو گره‌ای، به طوری که ابتدای هر المان مفصل و انتهای آن گره لولایی باشد، دقت کافی را دارد. بنابراین، هر دوپیت با چهار المان مدل خواهد شد [4]. در مدل‌های مورد نظر در این رساله از همین نوع مدل‌سازی بهره گرفته شده است. برنامه به کار رفته جهت طراحی و تحلیل مدل‌ها، SAP2000 V.14.0.0 بوده و اتصالات بدون اصطکاک فرض شده است. تحلیل تیفی و مودال نیز به روی مدل‌ها انجام یافته است. سپس تحلیل استاتیکی افزاینده در هر سه راستای عرضی، طولی و قائم انجام یافته است. در هر حالت سازه تحت بار $1/1$ برابر کل بار مرده و برف قرار داشته و مؤلفه زلزله مورد نظر به طور افزاینده به آن اعمال شده است. در ادامه، با استفاده از طیف تقاضای افقی و قائم ایران، سطوح عملکرد سازه‌ها در

هر راستا تعیین شده است. به طور کلی، محل تشکیل مفاصل غیر خطی در یونیت‌ها در محل گره لولایی بوده و در اعضایی که مستقیماً به تکیه گاه وارد شده و یا در مجاورت آن قرار دارند، بیشتر احتمال غیرخطی شدن وجود دارد. اختصاص تعداد زیادی مفصل به اعضا باعث افزایش زمان لازم جهت انجام تحلیل‌ها شده و معمولاً دقت محاسبات را بالاتر نخواهد برد. بایستی با توجه به رفتار سازه در تحلیل‌های خطی، محل احتمالی مفاصل غیرخطی را پیش‌بینی کرد. طبق تحلیل‌های انجام گرفته بر مدل ساده زیر (شامل چهار دوپلت)، مفاصل خود کار P-M2- در محل گره‌های لولایی، مناسب‌ترین انتخاب جهت انجام تحلیل غیرخطی واحدهای تاشو قیچی سان می- باشد.



شکل 6: مدل ساده با 4 پلت



شکل 5: مدل اجزا محدود

توزیع بار زلزله به دو صورت یکنواخت و مودی انتخاب شده است. در توزیع یکنواخت، برش پایه به تعداد گره‌ها به طور مساوی تقسیم شده است و در توزیع مودی، توزیع بر اساس مود غالب مدل‌ها انجام یافته است. در هر جهت 30 درصد بار زلزله راستای متعامد نیز به منظور در نظر گرفتن اثر هم‌زمان مؤلفه‌ها منظور می‌شود. طیف - های مورد استفاده جهت تحلیل مودی و تحلیل طیف ظرفیت با استفاده از مرجع شماره 14 انتخاب شده است. در مرجع مذکور، طیف طرح آئین نامه ایران برای انواع مقادیر میرایی در راستای افقی و قائم اصلاح شده است.

$$B = 1 + (b - 1) \cdot \frac{T}{0.15} \quad , \quad T \leq 0.15 s$$

$$B = b \quad , \quad 0.15 s \leq T \leq T_2$$

$$B = b \cdot \left(\frac{T_2}{T} \right)^\alpha \quad , \quad T_2 \leq T$$

[رابطه 1]: طیف بازتاب افقی :

جدول 2 پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه ضریب بازتاب افقی [14].

α	b	T_2	نوع زمین	نسبت میرایی (ξ) بر حسب درصد
۱/۰	۷/۶	۰/۵	۱/۲	۰/۰
		۰/۷	۳/۴	
۰/۱۸	۵/۶	۰/۵	۱/۲	۰/۵
		۰/۷	۳/۴	
۰/۷	۳/۷	۰/۵	۱/۲	۲/۰
		۰/۷	۳/۴	
۰/۶	۲/۶	۰/۵	۱/۲	۵/۰
		۰/۷	۳/۴	
۰/۶	۲/۰	۰/۵	۱/۲	۱۰/۰
		۰/۷	۳/۴	

$$B = 1 + (b - 1) \cdot \frac{T}{0.1}$$

$$T \leq 0.1 s$$

$$B = b$$

$$0.1 s \leq T \leq 0.5 s$$

$$B = b \cdot \left(\frac{T_2}{T}\right)^\alpha$$

$$0.5 s \leq T$$

[رابطه 2]: طیف بازتاب قائم :
جدول 3 پارامترهای مورد نیاز
برای محاسبه ضریب بازتاب

قائم [14].

α	b	نسبت میرایی (ξ) بر حسب درصد
۱/۱۰	۸/۱	۰/۰
۰/۹۵	۵/۷	۰/۵
۰/۸۰	۳/۸	۲/۰
۰/۷۵	۲/۷	۵/۰
۰/۷۰	۲/۰	۱۰/۰

4. نتایج تحلیل ها

نتایج حاصل از تحلیل و طراحی مدل‌ها در جدول زیر خلاصه شده است. در طراحی تمامی مدل‌ها ترکیب بار بحرانی، ترکیب بار ثقلی با مؤلفه قائم زلزله بوده و پس از آن به ترتیب، مؤلفه طولی و عرضی زلزله قرار دارد. به طوری که بیش از 50٪ اعضا در مؤلفه قائم زلزله حالت بحرانی دارد. طبق نتایج طراحی، در زوایای بازشدگی 100 درجه و بیش تر، طراحی مقاطع اعضا غیراقتصادی می‌باشد. پیشنهاد می‌شود چلیک‌های تاشو برای زوایای بازشدگی کمتر از 100 درجه طراحی شده (حدوداً 90 درجه) و در صورت نیاز به ارتفاع بلندتر، چندین دوپلت عرضی به سازه اضافه گردد. طبق جدول 2 در زاویه باز شدگی 90 درجه، وزن واحد سطح سازه بهینه تر است.

جدول 4 نتایج طراحی مدل

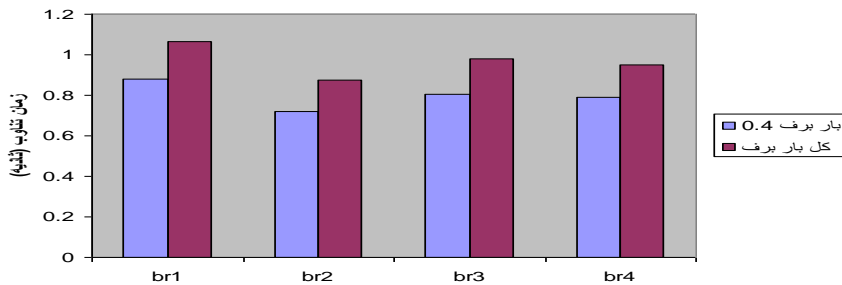
مدل	وزن کل (تن)	وزن واحد سطح (کیلوگرم بر مترمربع)
b1	۴۷/۳۶	۸۸
b2	۵۵/۵۵	۸۸
b3	۵۶/۶۶	۸۱
b4	۶۳/۳۳	۹۰

مجموع نسبت مشارکت جرمی 20 مود اول مدل‌ها در جدول 5 نشان داده شده است.

جدول 5 مجموع نسبت مشارکت جرمی 20 مود اول

مدل	UX عرضی	UY طولی	UZ قائم
br1	0.74	0.83	0.72
br2	0.73	0.82	0.83
br3	0.71	0.8	0.84
br4	0.78	0.82	0.84

مجموع مشارکت جرمی 20 مود اول در راستای عرضی چلیک‌ها، نسبت به راستای طولی و قائم کم‌تر می‌باشد. یعنی اثر موده‌های بالاتر در راستای عرضی بیش‌تر است. در تمامی مدل‌های چلیک، مود اول یک مود در راستای طولی چلیک بوده و پس از به ترتیب مود عرضی و مود قائم قرار دارد. یعنی عمده حرکت سازه در زلزله، در راستای طولی خواهد بود. در نمودار شکل 7 مقادیر زمان تناوب مود اول مدل‌ها در دو حالت با در نظر گرفتن کل بار برف و 40 درصد آن نشان داده شده است. طبق مبحث ششم از مقررات ملی ساختمان ایران، برای پوشش سالن‌ها و محل‌های اجتماع بایستی 40 درصد بار زنده در تعیین وزن مؤثر سازه در زلزله به کار برده شود. با توجه به نمودار مذکور مشخص می‌شود که با در نظر گرفتن کل بار برف، میزان زمان تناوب سازه می‌تواند تا بیش از 20 درصد افزایش یابد. این مسئله خصوصیات دینامیکی سازه تحت تأثیر قرار می‌دهد. برش پایه دینامیکی حاصل از تحلیل طیفی با در نظر گرفتن کل بار برف و 40 درصد آن، در جدول 6 نشان داده شده است. در تحلیل طیفی، از طیف طرح معرفی شده در بخش 3 استفاده شده است. مشاهده می‌شود که برش پایه در حالتی که کل بار برف در نظر گرفته شود میتواند تا حدود 20 درصد بیش‌تر از حالتی باشد که فقط 40 درصد بار برف در نظر گرفته می‌شود.



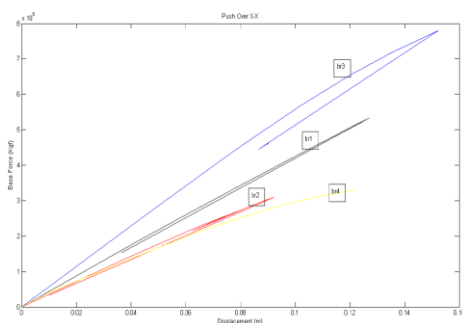
شکل 7: مقایسه زمان تناوب مود اول با در نظر گرفتن 0/4 و کل بار برف.

جدول 6 برش پایه دینامیکی

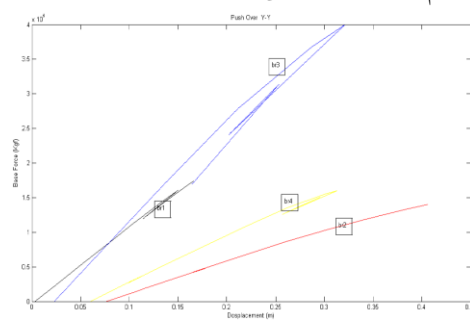
مدل	برش پایه راستای عرضی (تن)		برش پایه راستای طولی (تن)		برش پایه راستای قائم (تن)	
	کل بار برف	40٪ بار برف	کل بار برف	40٪ بار برف	کل بار برف	40٪ بار برف
br1	63.56	54.25	45.9	39.59	60.09	54.67
br2	62.36	52.83	43.51	38.45	56.67	51.77
br3	86.64	71.42	62.92	53.23	93.9	82.04
br4	76.44	64.65	59.49	51.19	74.25	65.52

منحنی‌های زیر حاصل از توزیع یکنواخت بار زلزله می‌باشد. در راستای عرضی، رفتار چلیک با زاویه بازشدگی 90 درجه پایدارتر بوده و سایر مدل‌ها رفتار ترد و شکننده‌ای دارد. در راستای طولی نیز رفتار مدل با زاویه بازشدگی 90 بهتر از سایر مدل‌ها بوده و در زاویه 100 درجه رفتار سازه تقریباً به حالت ارتجاعی تبدیل شده

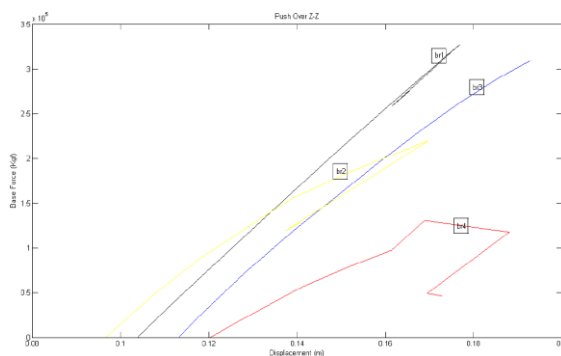
است. در حالت کلی، چلیک تاشو در راستای طولی بسیار نرم تر از راستای عرضی رفتار کرده و تحت برش پایه کم تر، جابجایی های بزرگ تری دارد. در راستای قائم، رفتار چلیک با زاویه بازشدگی 100 درجه بسیار ناپایدار می باشد. در هر سه راستا، رفتار کلی چلیک تاشو، همانند سایر چلیک های فضاکار مشبک، ترد بوده و انرژی چندانی در محدود غیرخطی تلف نخواهد شد. در منحنی های نشان داده شده، رفتار سازه بیش تر در محدوده خطی است. به طور کلی به علت زیاد بودن تعداد المان ها و مسیرهای انتقال بار، منحنی کلی سازه حتی با تشکیل چند مفصل غیرخطی اولیه همچنان در حالت خطی باقی می ماند. جابجایی هدف در رسم منحنی های بار جابجایی، به اندازه 0/02 برابر ارتفاع انتخاب شده است. البته در مدل های مورد بررسی، معمولاً جابجایی به این مقدار نرسیده و در زمانی که یک مفصل غیرخطی به حد باربرداری می رسد، برنامه SAP2000 قادر به باربرداری مفصل مذکور و باز توزیع نیرو در سازه نمی باشد. با توجه به آن که در اینجا تعیین نقاط عملکرد سازه مد نظر بوده است، ترسیم منحنی عملکرد به صورت ذکر شده جواب گو می باشد. در صورتی که هدف تعیین ضریب رفتار سازه باشد، بایستی با استفاده از نرم افزارهایی همچون PERFORM 3D و ... که مخصوص انجام تحلیل های غیرخطی است، ترسیم دقیق تری از منحنی عملکرد سازه به دست آورد.



شکل 9 منحنی ظرفیت مدل ها در راستای طولی Y



شکل 8: منحنی ظرفیت مدل ها در راستای عرضی X



شکل 10 منحنی ظرفیت مدل ها در راستای قائم Z

در جدول 4، سطوح عملکرد سازه ها در طیف افقی و قائم معرفی شده در بخش 3 تحت هر دو توزیع

یکنواخت و مودی آورده شده است.

جدول 7: سطوح عملکرد به دست آمده از تحلیل طیف ظرفیت

مدل	x راستای عرضی	y راستای طولی	z راستای قائم
br1	IO-LS	IO	IO-LS
br2	IO	IO	LS
br3	IO	IO	IO-LS
br4	IO	IO	IO

از لحاظ سطوح عملکرد سازه‌ای، در راستای عرضی رفتار چلیک‌ها با انواع زاویه بازشدگی تقریباً یکسان بوده و در محدوده IO و LS قرار دارد. در راستای قائم، سطح عملکرد بیش‌تر در محدوده LS قرار دارد و در راستای عملکرد سازه حد IO پایین‌تر نمی‌آید.

5. بحث و نتیجه‌گیری

در طراحی چلیک‌های تاشو قیچی سان مورد بحث در اینجا، اثر بار زلزله به خصوص مؤلفه قائم آن در طراحی از سایر ترکیبات بار بحرانی‌تر است. با افزایش زاویه بازشدگی دوپلت‌ها، وزن سازه طراحی شده بیش‌تر می‌شود و در زاویه 100 درجه و بیش‌تر این طرح غیراقتصادی می‌گردد. در زاویه بازشدگی حدود 90 درجه طرح سازه و وزن واحد سطح آن بهینه‌تر می‌باشد. مود غالب در این سازه‌ها یک مود در راستای طولی چلیک بوده و در راستای عرضی، اثر مودهای بالاتر (بالاتر از مود بیستم) بر رفتار دینامیکی سازه بیش‌تر است. در نظر گرفتن کل بار برف در محاسبه وزن مؤثر سازه در زلزله، می‌تواند حداقل 20 درصد خصوصیات دینامیکی سازه همانند زمان تناوب و برش پایه حاصل از زلزله را نسبت به حالتی که فقط 0/4 بار برف در نظر گرفته می‌شود، افزایش دهد. از نظر سطوح عملکردی، سازه‌ها در طیف طرح آیین‌نامه ایران رفتار قابل اعتمادی داشته و در محدوده سطوح IO و LS قرار دارد.

مراجع

1. Barkhordari, M.A. & Jafarvand, A., "Geometric Nonlinear Analysis of Pantograph Structures ", CIVIL-COMP Ltd., Edinburgh, Scotland, 1999.
2. Chilton, John, " Space Grid Structures ", Architectural Press, Oxford, 2000.
3. GANTES, CHARS J., CONNOR, JEROME J., LOGCHER, ROBERT D., ROSENFELD, YECHIE L., " Structural Analysis and Design of Deployable Structures ", Computers & Structures Vol. 32, No. 3/4, pp. 661-669, 1989.
4. Gantes, C.J., " Deployable Structures: Analysis and Design ", WIT Press, 2001.
5. Gantes, C.J., Konitopoulou, E., "Geometric design of arbitrarily curved bistabledeployable arches with discrete joint size", International Journal of Solids and Structures 41 (2004) 5517–5540, www.elsevier.com/locate/ijsolstr.
6. HU, Qi-biao, GUAN, Fu-ling, HOU, Peng-fei, " Computerized Kinematic and Dynamic Analysis of Large Deployable Structures ", Journal of Zhejiang University, V.2, No.2, P.152-156, Apr-Jun, 2001.
7. Jing-Shan Zhao, Fulei Chu, Zhi-Jing Feng., " The mechanism theory and application of deployable structures based on SLE ", Tsinghua University, Beijing, China, 2008 Elsevier Ltd.

8. Kelkar, Atul G., Joshi, Suresh M., " Control of Nonlinear Multibody Flexible Space Structures ", Springer, Britain, 1996.
9. Lan, Tein.T, " Space Frame Structures ", Structural Engineering Handbook, chapter 13, Ed. Chen Wai-Fah, CRC Press LLC, 1999.
10. Nooshin, H. & Disney, P., " Formex Configuration Processing II ", International Journal of Space Structures, Vol.16, No.1, 2001.
11. Temmerman, Niels De, Laet, Lars De, Guldentops, Laurent, Mollaert, Marijke," Lightweight structures ", Proposals for master thesis, Vrije University of Brussels, 2009.
12. www.landscape.ir/mambots/editors/.
13. فرهادپور، احمد، " سازه‌های فضاکار بازشو و جمع شونده "، کنفرانس دوم سازه‌های فضاکار، دانشکده معماری، دانشگاه تهران، 1386.
14. کمالی صالح آباد، رضا و سلاجقه، عیسی، " محاسبه و رسم طیف بازتاب قائم "، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت 1387.
15. ملائی، سمیه، " بررسی پارامترهای لرزه‌ای سازه‌های فضاکار مشبک "، سمینار کارشناسی ارشد، به راهنمایی علی جعفروند، دانشگاه زنجان، 1388.