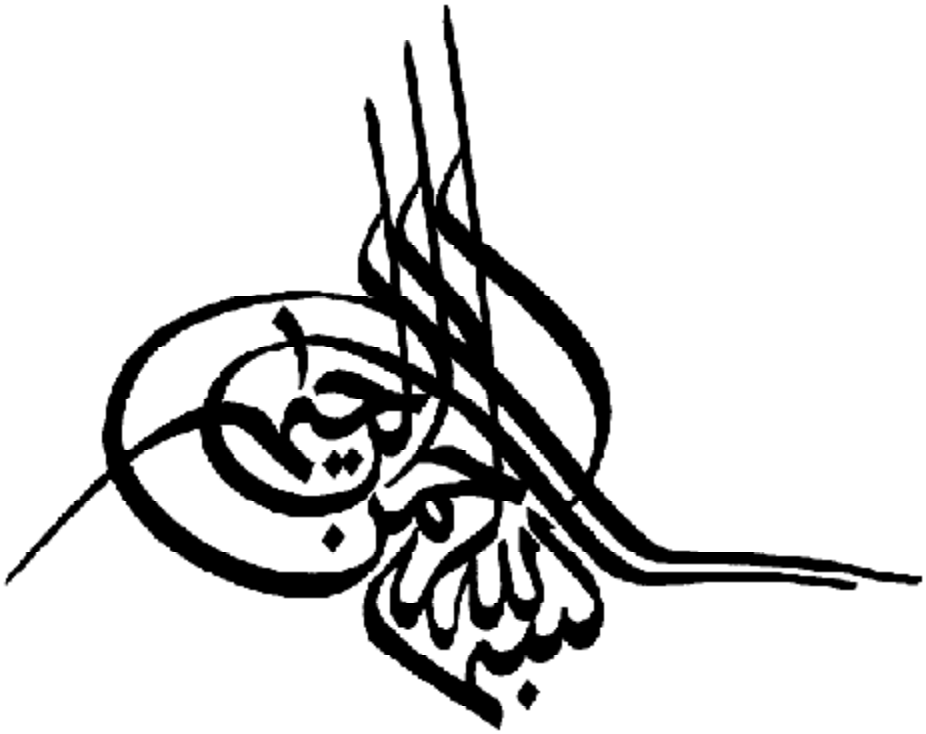

بسم الله الرحمن الرحيم

مجتمع فنی و مهندسی

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران- سازه

بررسی پایداری سازه‌های چلیکی تاشو

استادراهنما : دکتر حسینعلی رحیمی

استادمشاور : دکتر نادر عبدلی

پژوهش و نگارش : مریم چاوش پور

اردیبهشت 91

تقدیم به پدر مهربان و مادر دلسوزم

به طلب لبخند رضایتشان

و تقدیم به همسر عزیزم

قدردانی

در هر راهی راهنمایان آگاه و دلسوز لازم هستند تا ما را به سلامت به سرمنزل مقصود برسانند. در این اثر هم استادان دانش‌پژوه و دلسوز نورپردازان این طریق بوده‌اند.

این پایان‌نامه زیر نظر استاد راهنمای محترم جناب آقای دکتر حسینعلی رحیمی و استاد مشاور گرامی جناب آقای دکتر نادر عبدلی به انجام رسیده است. از راهنمایی‌های ارزنده استادان محترم بهره فراوان گرفته شده است. بدین وسیله مراتب کمال قدردانی و سپاسگزاری خود را نسبت به ایشان ابراز می‌نمایم.

همچنین از راهنمایی‌های ارزشمند و زحمات بی شائبه دکتر محمد فروغی در یادگیری هرچه بهتر نرم افزار ANSYS تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

سازه‌های تاشو سیستم‌های مشبک فضاکاری هستند که قابلیت جابجایی از لحاظ موقعیت و هندسه را دارند. واحد پایه سازه‌های تاشو بررسی شده در این پژوهش را واحدهای قیچی سان تشکیل می‌دهند. انواع مدل‌های هندسی سازه‌های تاشو شامل سازه‌های تخت، چلیک، گنبد، برج‌ها و . . . می‌باشند. در این پژوهش رفتار ناپایداری سازه‌های تاشو از نوع چلیک بررسی می‌گردد.

سازه‌های تاشو بر اساس رفتار سازه‌ای به دو گروه سازه‌های تاشو سازگار و ناسازگارتقسیم می‌شوند. رفتار سازه‌های مورد بررسی در این پایان نامه از نوع سازگار می‌باشد.

در این مجموعه، پس از اینکه کلیاتی از سازه‌های تاشو شامل معرفی، تاریخچه، طبقه‌بندی از جهت مکانیزم تاشوندگی، اتصالات، کاربردها، مزایا، معایب و ... ارائه می‌گردد، مطالعات استاتیکی انجام شده روی این سازه‌ها مرور می‌شود. سپس شرایط تاشوندگی سازه‌های قیچی سان همساز و نحوه مدلسازی این سازه‌ها در نرم افزارهای مورد استفاده در این تحقیق(ANSYS وSAP2000)، تشریح می‌گردد. برای بررسی پایداری و ترسیم مسیرهای غیرخطی تعادل از تحلیل غیرخطی هندسی به روش کنترل جابجایی و کنترل نیرو استفاده شده است. تأیید مدلسازی عناصر محدود با دو مثال صورت گرفته است. سپس مکانیزم خرابی چلیک‌های تاشوی متشکل از المان‌های قیچی سان با استفاده از تحلیل‌های ناپایداری استاتیکی به روش عناصر محدود، بررسی و ارزیابی شده است.

مطالعات پارامتریک شامل تأثیر نوع مصالح، نحوه بارگذاری، اندازه سطح مقطع، دهانه، خیز، تعداد واحدهای قیچی سان، اندازه عمق سازه، تأثیر حضور میله‌های اضافی در چلیک و تغییر نوع قوس می‌باشد که نتایج آن‌ها ارائه گردیده است.

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه

1-1- تعریف 3

1-2- تاریخچه توسعه سازه‌های فضاکار 4

1-2-1-سازه‌های فضاکار تاشو 4

1-3- طبقه بندی سازه‌های تاشو از جهت مکانیزم تاشوندگی 6

1-4- اتصالات در سازه‌های تاشو قیچی سان 10

1-5- کاربردها 14

1-6- مزایای سیستم‌های تاشو 16

1-7- معایب و محدودیت‌ها 18

1-8- انواع سازه‌های تاشو از نظر شکل هندسی 19

1-9- مصالح مورد استفاده 22

1-10- تقسیم بندی سازه‌های تاشو قیچی سان از نظر رفتار سازه ای 22

1-11- ساختار پایان نامه 24

فصل دوم :مروری بر مطالعات انجام شده

ماتریس سختی یونیپلت 27

ماتریس سختی دوپلت 31

فصل سوم :مدل سازی و ارزیابی صحت آن

3-1- شرایط تاشوندگی سازه‌های قیچی سان همساز 43

3-2- نحوه ایجاد داده در مدلسازی سازه‌های قیچی سان 45

3-2-1- مدلسازی المانها در ANSYS 46

3-2-2- مدلسازی المانها در SAP2000 47

3-3- تقسیم بندی سازه‌ها بر اساس رفتار غیرخطی آنها 47

3-3-1- ناپایداری نقطه حدی 48

3-3-2- ناپایداری نقطه دوشاخگی 53

فصل چهارم :بررسی پایداری استاتیکی چلیک تا شو

4-1- مودهای ناپایداری در سازه‌های فضاکار 57

4-1-1- ناپایداری عضوی 57

4-1-2- ناپایداری گرهی 58

4-1-3- ناپایداری پیچشی گرهی 59

4-1-4- حالات توأم ناپایداری 60

4-1-5- ناپایداری در امتداد مسیر 61

4-1-6- ناپایداری کلی 62

4-3- عوامل ایجاد رفتار غیرخطی سازه‌های فضاکار 63

4-4- روابط هندسی حاکم بر چلیک‌های تاشو قیچی سان 67

4-6- مقایسه دو روش کنترل جابجایی و کنترل نیرو برای چلیک ذکر شده (با مصالح آلومینیوم): 74

4-7- فروجهش گرهی 75

4-8- عوامل مؤثر بر پدیدهٔ فروجهش گرهی 76

4-8-1- نحوه مدل سازی تحلیلی 76

4-8-2- بارگذاری بر روی سازه 77

4-8-3- صلبیت سازه 78

4-8-4- نسبت لاغری اعضای فشاری 78
4-8-5- صلبیت اتصالات 79
4-8-6- اندازه پیونده 79
4-8-7- انحنای هندسی سازه فضاکار 79
4-9- تأثیر عوامل مختلف بر روی رفتار پایداری سازه‌های چلیکی 80
4-9-1- بارگذاری بر روی سازه 80
برای ترسیم منحنی بار- تغییرمکان در مورد حالتی که بارگذاری در تمام گره‌ها صورت گرفته، از مجموع بارها (مجموع عکس العمل‌ها) استفاده شده است. 81
4-9-2- سطح مقطع یا لاغری 81
4-9-3- دهانه 83
4-9-4- خیز 84
4-9-5- عمق سازه ای چلیک 85
4-9-6- تعداد واحدهای قیچی سان 86
4-9-7- افزودن میله‌های عمودی 91
4-9-8- نوع قوس 92
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات 93
مراجع 97

فهرست اشکال

شکل1-1: سازه تاشو با مکانیزم چتری 6

شکل1-2: سازه‌های تاشو با مکانیزم مفصلی 7

شکل1-3: آنتن یک سازه تاشو با مکانیزم کشویی 7

شکل1-4: سازه‌های بادشونده با هوا 8

شکل1-5: سازه‌های با سیستم تاشونده صفحه ای 8

شکل 1-6: دوپلت 9

شکل1- 7: مکانیزم یک در تاشو 9

شکل 1-8: یک سقف تاشو 10

شکل 1-9: نمونه ای از اتصالات یا پیونده‌ها 12

شکل1-10: اتصال بین میله‌ها و پیونده‌ها 13

شکل1-11: شبکه‌های تخت 19

شکل 1-12: سازه‌های تاشو چلیکی 20

شکل1-13: سازه‌های تاشو گنبدی 21

شکل 2-1: المان یونیپلت و تیر سه گرهی 28

شکل 2-2: ماتریس سختی تیر سه گرهی 30

شکل 2-3: ماتریس سختی تیر سه گرهی 30

شکل 2-4: ماتریس سختی تیر سه گرهی 31

شکل 2-5: المان دوپلت 31

شکل 2-6: نیروهای گرهی 32

شکل2-7: اتصال پوششی قیچی سان 37

شکل 2-8: تغییر هندسه به یک سازه مسطح 37

شکل 2-9: تغییر هندسه سازه به یک چلیک 38

شکل 3-1: مواردی از سیستم‌های قیچی سان 43
شکل 3-2 : ترکیبی از دو دوپلت برای نشان دادن شرایط تاشوندگی 44
شکل 3-3: موقعیت هندسی دوپلت‌ها برای حفظ شرایط تاشوندگی 45
شکل 3-4: منحنی پاسخ بار- تغییرمکان در حالت ناپایداری نقطه حدی 49
شکل3-5: سازه یک درجه آزادی 50
شکل3-6: پاسخ بار- تغییرمکان سازه یک درجه آزادی با 3 روش کنترل بار، جابجایی و تئوری بازانت 50
شکل 3-7: نمودار بازانت 51
شکل 3-8 52
شکل3-9: پاسخ بار- تغییرمکان سازه شکل3-8 52
شکل 3-10: ناپایداری نقطه ی دو شاخگی 53
شکل 4-1: ناپایداری عضوی 58
شکل 4-2: ناپایداری گرهی 59
شکل 4-3: ناپایداری پیچشی گرهی 60
شکل 4-4: حالات توأم ناپایداری 61
شکل 4-5 : ناپایداری در امتداد مسیر 61
شکل 4-6: ناپایداری کلی 62
شکل 4-7: نتایج شماتیک تحلیل‌های استاتیکی بر روی سازه‌های فضاکار 66
شکل4-8: هندسه چلیک 67
شکل4-9: هندسه دوپلت 67
شکل 4-10: یک نمونه سازه چلیکی تاشو سه بعدی 70
شکل4-11: اتصال مفصلی کامل بین واحدهای قیچی سان و اتصال با مدل فروغی 70
شکل4-12:مقایسه نمودار بار- تغییرمکان سازه با اتصال مفصلی و سازه با اتصال مدل فروغی 71
شکل4-13: چلیک تاشو تحت کنترل جابجایی 72

شکل4-14: چلیک تاشو تحت کنترل بار 72
شکل4-15: پاسخ بار-تغییرمکان چلیک با دو مصالح فولاد و آلومینیوم 73
شکل4-16: پاسخ بار- تغییرمکان چلیک با دو روش کنترل نیرو و تغییرمکان 74
شکل4-17: اثر دینامیکی فروجهش گرهی 76
شکل4-18:مدلسازی تحلیلی پوسته‌های مشبک 77
شکل4-19:تأثیر مدلسازی تحلیلی بر فروجهش گرهی 77
شکل4-20: مطالعه ناپایداری گرهی بر روی یک سازه با بارگذاری‌های مختلف 77
شکل4-21: تأثیر نسبت لاغری روی پدیدهٔ فروجهش گرهی 78
شکل4-22: تأثیر انحنای گوسی روی پدیده فروجهش گرهی 80
شکل4-23: مطالعه ناپایداری روی یک سازه چلیکی با بارگذاری‌های متفاوت 80
شکل4-24: پاسخ بار- تغییرمکان چلیک با دو بارگذاری متفاوت 81
شکل4-25:پاسخ بار- تغییرمکان چلیک بازای مقاطع مختلف با روش کنترل جابجایی 82
شکل4-26:پاسخ بار- تغییرمکان چلیک بازای مقاطع مختلف با روش کنترل نیرو 82
شکل4-27: پاسخ بار تغییرمکان چلیک به ازای دهانه‌های مختلف با بار گذاری متمرکز در وسط به روش کنترل جابجایی 83
شکل4-28: پاسخ بار تغییرمکان چلیک به ازای دهانه‌های مختلف با بار گذاری گسترده در وسط به روش کنترل نیرو 83
شکل4-29: پاسخ بار تغییرمکان چلیک به ازای خیزهای مختلف با با بار گذاری متمرکز در وسط به روش کنترل جابجایی 84
شکل4-30: پاسخ بار تغییرمکان چلیک به ازای خیزهای مختلف با با بار گذاری گسترده در وسط به روش کنترل نیرو 84
شکل4-31: پاسخ بار تغییرمکان چلیک به ازای عمق‌های مختلف با با بار گذاری گسترده در وسط به روش کنترل نیرو 85

شکل4-32: پاسخ بار تغییرمکان چلیک به ازای عمق‌های مختلف با با بار گذاری متمرکز در وسط به روش کنترل جابجایی.....85
شکل4-33: پاسخ بار تغییرمکان چلیک به ازای تعداد واحدهای مختلف با با بار گذاری متمرکز در وسط به روش کنترل جابجای.....86
شکل4-34: پاسخ بار تغییرمکان چلیک به ازای تعداد واحدهای مختلف با روش کنترل نیرو.....86
شکل 4-35: خرپای معمولی دو واحدی.....87
شکل 4-36: خرپای معمولی چهار واحدی.....87
شکل 4-37: خرپای دو واحدی با واحدهای قیچی سان.....88
شکل4-38: خرپای چهار واحدی با واحدهای قیچی سان.....88
شکل 4-39: خرپای دو واحدی با واحدهای فقط قیچی سان.....89
شکل 4-40: سازه با چهار واحد قیچی سان.....89
شکل 4-41: سازه قیچی سان چهار واحدی با ارتفاع1/5 متر.....90
شکل 4-42: چلیک تاشو با میله‌های اضافی در دو انتها.....91
شکل 4-43: پاسخ بار- تغییرمکان چلیک تاشو با میله‌های اضافی در دو انتها.....91
شکل4-44:مشخصات هندسی قوس.....91
شکل 4-45: پاسخ بار- تغییرمکان کمان دایره و بیضی تحت بار متمرکز در وسط به روش کنترل جابجایی.....92

فصل اول

مقدمه

1-1- تعریف

سازه‌های تاشو سازه‌هایی هستند که توان باز و بسته شدن را داشته بسیار سبک و قابل حمل می‌باشند. این سازه‌ها از سرهم بندی مدول‌های یکسان و یا ترکیبی از مدول‌های متفاوت بدست می‌آیند. عضو، پیونده و پوشانه اجزای اصلی تشکیل دهنده سازه‌های تاشو می‌باشند. این سازه‌ها با یک نیروی محرکه مشخص که بسته به ابعاد سازه تعیین می‌شود، باز شده و به صورت سازه با هندسه واقعی در می‌آیند. بااعمال نیرویی معادل و عکس مرحله بازشدن، سازه به یک بسته فشرده تبدیل می‌شود.

سازه تاشو یک لفظ کلی برای طیف وسیعی از سازه‌های پیش ساخته می‌باشد که قابلیت حمل به صورت یک ترکیب فشرده را دارد و این ترکیب فشرده هنگامی که به طور کامل باز می‌شود پایدار بوده و می‌تواند بارهای وارده را تحمل کند.

دلیل تمایل به استفاده از این نوع سازه‌ها کاربرد اطمینان بخش و سودمند آنها نسبت به سازه‌های دایمی می‌باشد. این نوع سازه‌ها دارای عضوهایی هستند که در کارخانه سرهم بندی شده و به صورت بسته‌های فشرده به محل مورد نظر منتقل می‌شوند و با اعمال نیروی خارجی ناچیز، سازه به صورت یک سازه گسترده با حجم بزرگ درآورده می‌شود

در آینده پروژه‌هایی فضایی مستلزم استفاده از سازه‌های هوشمند می‌باشند، بدین ترتیب که در یک سیستم سازه ای، هندسه و مشخصه‌های وابسته سازه ای به گونه ای تغییر کنند که با توجه به شرایط متغیر جوابگوی خواسته‌ها باشند. از دیدگاه مهندسی سازه، برای گسترش این قابلیت احتیاج به ارائه ساختارهای سازه ای انعطاف پذیر با عملکردهای متفاوت می‌باشد، بدون اینکه ناپایداری در این عملکرد بوجود آید. بدین منظور ساختارهای متفاوتی از سازه‌های بازشو ارائه شده است که مهمترین آنها سازه‌هایی با اتصالات قیچی گون هستند.

1-2- تاریخچه توسعه سازه‌های فضاکار

توسعه قابل توجه سازه‌های فضاکار[1] از زمانی آغاز شد که فوپل[2] اولین کتاب خود را در زمینه سازه‌های فضاکار تحت عنوان "تئوری سیستم‌های مشبک" به سال 1880 نوشت[1]. بین نادر افرادی که تئوری‌های ایشان را مورد توجه قرار دادند، ایفل[3] بود که برج معروف خود را برای نمایشگاه جهانی پاریس در سال 1889 ساخت. این برج اولین سازه فضاکار ساخته شده می‌باشد که محاسبات آن بر مبنای هندسه سه بعدی انجام گرفته است. این برج قرار بود، پس از نمایشگاه برچیده شود، ولی چنان با موفقیت روبرو گردید که نه تنها هنوز پابرجاست، بلکه بعنوان سمبل شهر پاریس نیز شمرده می‌شود و نشانه ای از نبوغ طراح آن است.

بل[4] مخترع معروف تلفن در سال 1907 آزمایشات وسیعی را روی سیستم‌های فضاکار چندلایه[5] پیش ساخته انجام داد. او بیشتر وقت خود را روی ساخت ماشین‌های پرنده از سازه‌های فضاکار چندلایه صرف کرد. ایشان هواپیمای کوچک یک نفره و برج دیده بانی را با موفقیت و با استفاده از واحدهای پیش ساخته صنعتی چهاروجهی، مرکب از لوله و پوسته تنیده ساخت[1].

1-2-1-سازه‌های فضاکار تاشو[6]

سازه‌های متحرک که به طور ساده و وسیع نصب گردند و قابل حمل و نصب مجدد در مکان‌های مورد نیاز باشند، از زمان‌های بسیار دور، مورد نیاز بوده است. هنگامی که انسان‌های قبیله نشین جهت یافتن مراتع بهتر و شرایط آب و هوایی مناسب از مکانی به مکان دیگر کوچ می‌کردند، جهت اسکان خود چادرهای سبکی را طراحی و ساخته بودند که به سهولت نصب و برچیده گردند.

---

[1] - space structures
[2]- FOPPLE
[3] - EIFFEL
[4] - Bell
[5] - Mult i- Layer
[6] - Foldable Space Structures

پینرو[1] اولین سازه فضاکار تاشوی سه بعدی را در سال 1961 طراحی کرده و ساخت. پس از ایشان محقیق زیادی در مورد این سازه‌ها مطالعه کرده اند[25].

سازه‌های تاشو به سازه‌هایی اطلاق می‌گردد که قابلیت انتقال از حالت بسته به یک بافتار باز را دارند. این سازه‌ها در حالت باز پایدار بوده و توان تحمل بار را دارند. با توجه به کاربردهای خاص و فراوان این بافتارها، خصوصاً در کاربردهای موقت، مطالعه این سازه‌ها برای محققین جالب و ارزشمند است.

جهت نیل به این هدف، سازه‌های تاشو باید دارای خصوصیات اصلی زیر باشند:

- در حالت بسته کوچک و کم حجم باشند.
- شرایط تاشوندگی و بازشوندگی ارضاء گردد.
- روش نصب، آسان و با کمترین مهارت صورت گیرد.
- برچیدن این سازه‌ها نیز به آسانی امکان پذیر باشد.

این اهداف طراحی ، جزئیات ساخت سازه‌های تاشو را پیچیده و متمایز از سایر سازه‌ها می‌کند. اما یک تفاوت اساسی میان طراحی سازه‌های تاشو نسبت به اغلب سازه‌ها وجود دارد. در اکثر سازه‌ها طراحان و کاربران تنها به بررسی بافتارها پس از ساخت علاقه مند هستند و پیش بینی رفتار در حین فرآیند ساخت اغلب نادیده گرفته می‌شود. چرا که در این سازه‌ها، رفتار در طی فرآیند ساخت بحرانی نیست و مسئولیت کنترل پایداری و تنش‌های حاصل در فاز ساخت به پیمانکار واگذار می‌گردد(بجز در موارد اندک نظیر سازه‌های بتنی پیش تنیده). اما در سازه‌های تاشو اطمینان از نصب و برچیدن بخش اساسی و مهم ساخت آنهاست. به همین علت یک فاز با نام قابلیت نصب و اجرا[2] برای این بافتارها بررسی می‌گردد. طراح این سازه‌ها باید موارد زیر را در ساخت در نظر بگیرد:

- تهیه برنامه زمان بندی نصب
- تهیه دستورالعمل مراحل نصب

[1]- Pinero
[2] - constructability

- پیش بینی تجهیزات و نیروی انسانی موردنیاز جهت نصب سازه
- پیش بینی رفتار سازه در خلال فرآیند باز کردن و نصب
- طرح المان‌ها جهت تحمل بار مرده و نیز ارضاء شرایط تاشوندگی بدون کاهش باربری سازه

با توجه به مطالب بالا، بررسی ملاحظات طراحی در دو فاز مختلف، یکی در خلال فرآیند بازشدن و دیگری در مرحله کاربری سازه تحت اثر بار بهره برداری سرویس، مهندسین را علاقه مند به ارزیابی و مطالعه این سازه‌ها و تحقیق در این راستا می‌نماید.

1-3- طبقه بندی سازه‌های تاشو از جهت مکانیزم تاشوندگی

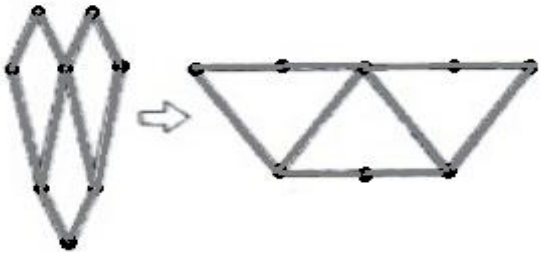
این سازه‌ها از جهت مکانیزم تاشوندگی، انواع مختلفی دارند:الف- سازه‌های تاشو با مکانیزم چتری[1]: این نوع سازه‌ها متشکل از یک دکل در وسط و میله‌هایی در اطراف که بوسیله یک سیستم کشویی استوانه ای یا گره‌های مفصلی باز و بسته می‌شود. نمونه ای از این نوع سازه‌ها در شکل 1-1 آورده شده است.

شکل1-1 : سازه تاشو با مکانیزم چتری

ب- سازه‌های تاشو با مکانیزم مفصلی: این نوع ساختار که در شکل1-2 آورده شده است، به گونه ای است که مجموعهٔ میله‌های مفصل دار جمع شده و هنگامی که باز می‌شوند دو میله مجاور

[1]- Umbrella Mechanism

که با مفصل به یکدیگر متصل هستند قفل می‌شوند و دو میله به عنوان یک جزء ساده عمل می‌کند.

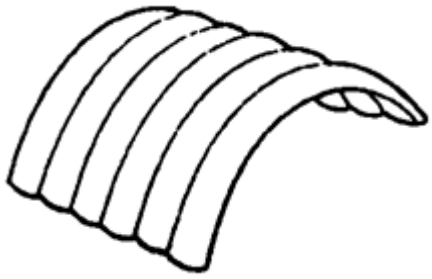


شکل1-2 : سازه‌های تاشو با مکانیزم مفصلی

ج- سازه‌های تاشو با مکانیزم کشویی : نوع خاصی از سازه‌های بازشونده هستند که با یک سیستم کشویی باز و بسته می‌شوند بطوریکه اعضای این سازه‌ها به صورت یک مکانیزم کشویی در هم جمع شده و باز می‌شوند. مثال بارز این نمونه سازه‌ها آنتن رادیو ضبط‌ها (شکل1-3) می‌باشد.

شکل1-3 : آنتن یک سازه تاشو با مکانیزم کشویی

د- سازه‌های بادشونده با هوا : نوع دیگری از سازه‌های بازشونده ، سازه‌های بادشو با هوا مانند شکل 1-4 می‌باشند که برای نگهداری سقف آنها از فشار هوا در داخل آنها استفاده می‌شود یا اجزای بادشده مانند ترکیب تیرهای بادشده با هوا یا قوس‌هایی که تنها مقاومت کششی آنها، صلبیت سازه را حفظ می‌کند. این سازه‌ها کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند به این دلیل که دائماً به مصرف انرژی برای بادکردن آنها نیاز است و نگهداری از آنها مشکل می‌باشد.

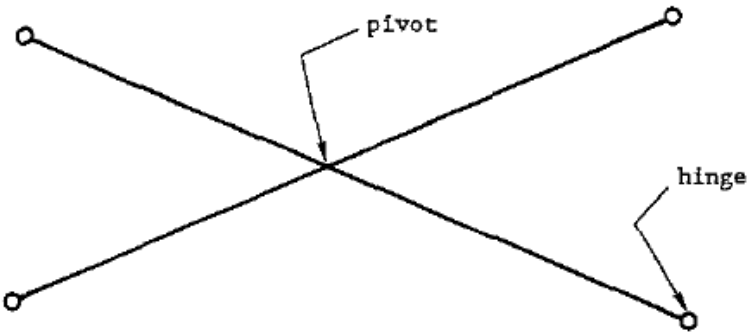


شکل1-4 : سازه‌های بادشونده با هوا

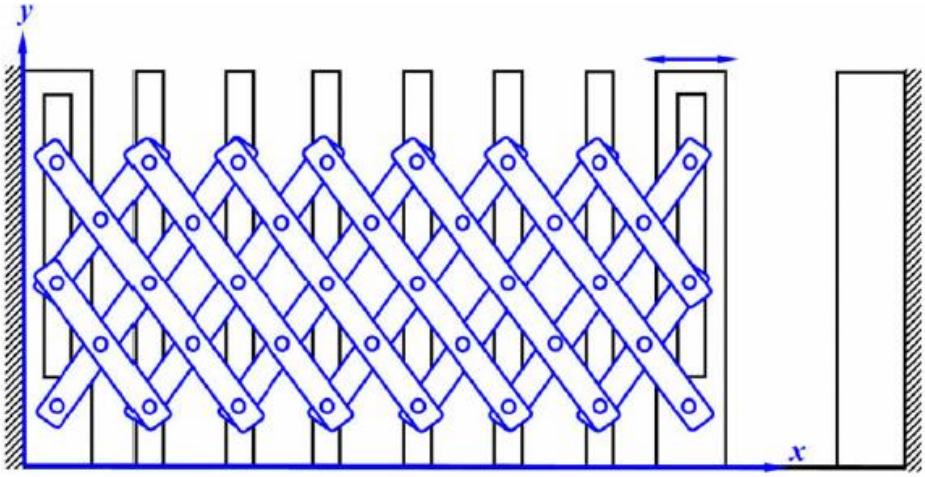
ه- سازه‌ها با سیستم تاشونده صفحه ای : این نوع سازه‌ها که نمونه‌های خاص از سازه‌های بازشونده می‌باشند، به دلیل اینکه مقاومت آنها در مقابل بارهای جانبی به مراتب بیشتر از چادرها می‌باشد ترجیح داده می‌شوند. المان‌های اصلی تشکیل دهنده ساختار آنها پانل‌های مثلثی می‌باشد که بوسیله مفصل‌های پیوسته به یکدیگر وصل می‌شوند. نمونه ای از این سازه‌ها در شکل1-5 آورده شده است.

شکل1-5 : سازه‌های با سیستم تاشونده صفحه ای

و- سازه‌های تاشو با سیستم قیچی سان[1]: سازه‌های تاشو با سیستم قیچی سان یکی از مهم ترین و پرکاربردترین سازه‌های تاشو هستند. واحد پایه سازه‌های تاشو با سیستم قیچی سان را المان‌های قیچی سان یا دوپلت تشکیل می‌دهد(شکل1-6). این دوپلت‌ها شامل دو میله می‌باشند که یونیپلت نامیده می‌شوند و در نقطه میانی توسط یک اتصال پینی به هم متصل شده اند. میله‌ها در چهار گره انتهایی شان به گره‌های انتهایی المان‌های قیچی سان دیگر متصل می‌شوند و واحدهای بزرگ تری را تشکیل می‌دهند. به سازه‌های ساخته شده از این واحدها پانتوگراف نیز گفته می‌شود. برای بهبود کارایی سازه‌های پانتوگراف ممکن است کابل یا میله‌های اضافی به آنها متصل شود. نمونه ای از سازه‌های تاشو در شکل‌های 1-7 و 1-8 نشان داده شده است.



شکل 1-6: المان قیچی سان (دوپلت)



شکل1- 7 : مکانیزم یک در تاشو

[1]- Scissor- Like Element