

## بررسی کاربردی سیستم‌های سازه‌ای پناهگاه‌های متحرک و موقت \*

An Investigation on Structural Systems of Mobile and Temporary Shelters

کتابیون تقی زاده<sup>۱</sup>، نفیسه سنایی<sup>۲</sup>

### چکیده

در سال‌های اخیر با افزایش سرعت رشد صنایع و علوم و فنون، تغییرات در عرصه استانداردها، عملکردها و کاربری‌های معماری بیشتر عیان گشته است. این امر بیانگر آن است که معماری امروز نیازمند تغییرات و پویایی بیشتری نسبت به گذشته است و به نظر می‌رسد که باید ساختمان‌های جدید متنوع‌تر، انعطاف‌پذیرتر و قابل انطباق با تغییرات احتمالی آینده باشند. با نگاهی به گذشته می‌توان دریافت که انسان چگونه با خلق اولین و ابتدایی‌ترین ساختار متحرک با مشکلات زندگی خود کنار آمده است و خانه‌های متحرک و شهرسازی انعطاف‌پذیر را چنان با نیازهای خود طراحی کرده که بتواند از آن در آینده نیز بهره گیرد. امروزه در دنیا نیاز استفاده‌کنندگان و عملکردهای متنوع ساختمان‌ها به سرعت در حال تغییر است و ساختمان‌ها باید منعطف و انطباق‌پذیر با تغییر عملکردها یا تغییرات زمانی (مانند آب و هوا) و یا مکانی متناسب با تغییر شرایط اجتماعی و فرهنگی باشد.

آنچه که در این مقاله مورد بحث قرار می‌گیرد، بررسی، تحلیل و تقسیم‌بندی سیستم‌های سازه‌ای پناهگاه‌های موقت و سیار است. هدف از این تقسیم‌بندی تعیین مدل‌های قابل تولید و متنوع برای توسعه فرم‌های پیشنهادی و سیستم‌های ساخت قابل دسترس و اجراست. با این نگرش به معرفی نمونه‌ها و روش‌های اجرایی و ممکن سیستم‌های ساخت پرداخته می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** معماری انعطاف‌پذیر، معماری قابل انطباق، ساختار متحرک، پناهگاه

## ۱. مقدمه

بعضی دیگر، برای پاسخ به نیازهای مختلف قابل تغییرند. طراحان محیطی واژه‌های انعطاف‌پذیری و تطبیق‌پذیری را برای این دو مورد به کار برده‌اند. برای طرح بنای چندمنظوره دلایل موجهی وجود دارد. یک فضا می‌تواند در یک زمان یا در زمان‌های مختلف پاسخگوی عملکردهای گوناگون باشد (ونتوری، ۱۳۵۷).

## ۳. پیشینه سازه‌های متحرک

مصریان باستان این سیستم را در صندلی‌های تاشو به کار برده و جوامع مغول خیمه‌های کروری و قابل انتقال خود را با استفاده از شبکه‌ای از مفتول‌های چوبی توسط مفصل‌های قیچی‌دار به هم متصل می‌ساختند. مخترعان عصر رنسانس مانند لئوناردو داوینچی آنها را در دستگاه‌ها و پل‌های متحرک و چترها به کار می‌بردند. یکی از افرادی که برای اولین بار به این موضوع علاقه‌مندی نشان داد، باک مینستر فولر<sup>۲</sup> بود که مفهوم مربوط به قابلیت باز شدن سازه‌ها را به عنوان بخشی از تئوری خود مطرح کرد. بعد از او امیلیو پرز پینرو<sup>۳</sup> از پیشگامان ساخت گنبد‌های بازشونده، با استفاده از سازه‌های متحرک تثاتی با این قابلیت را طراحی کرد. همچنین گنبد آیریس<sup>۴</sup> اثر چاک هابرمین<sup>۵</sup> دیوار متحرک اثر برایانت<sup>۶</sup> از گروه طراحی انستیتیوی تکنولوژی ماساچوست، قوس قیچی‌سان کابلی<sup>۷</sup> اثر کوکوا<sup>۸</sup> از ژاپن پروژه‌هایی هستند که به تدریج در توسعه فرم‌های باز و بسته شونده تاثیر به‌سزایی داشته‌اند.

## ۴. پناهگاه‌ها

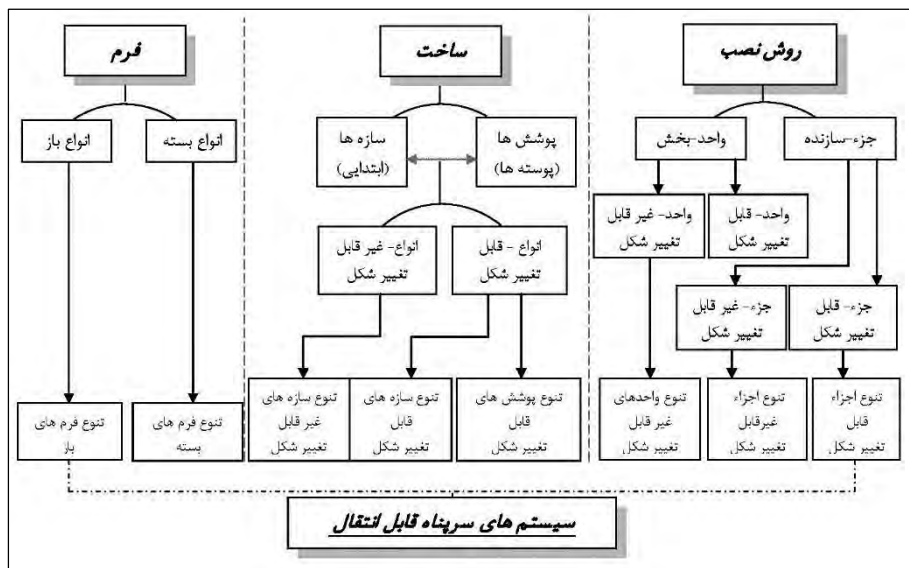
سیستم‌های سازه‌ای که برای پناهگاه‌های سیار با توجه به موقعیت زمانی و مکانی و جابه‌جایی و قابلیت انتقال بین فضاها و تغییرات فرم آنها طراحی می‌شوند، باید قابلیت انتقال و حمل و نقل را داشته و نصب آنها آسان و سریع باشد. در فرایند تغییر شکل و فرم پناهگاه‌ها، سیستم سازه‌ای روی زمین از یک سطح آغاز شده تا به یک فرم سه‌بعدی برسد. بنابراین احاطه کردن یک فضا با استفاده از چنین روشی تابع دو عنصر مشخص سیستم سازه‌ای نگهدارنده و سطح پوششی فضا است.

سرچشمه حرکت در معماری حرکتی به هنر برمی‌گردد. در آغاز قرن ۱۹، هنرمندان تلاش کردند مجسمه‌هایی بسازند که دارای اعضای متحرک بودند. در زندگی چادرنشینان نیز معماری حرکتی مشاهده می‌شود. چادرهای آنها سازه‌هایی متحرک هستند که قابلیت جمع شدن دارند و چادرنشینان می‌توانند آنها را حمل کنند. سازه‌های متحرک به عنوان سازه‌هایی تاشو و قابل حمل همچنان در معماری متحرک قابل مشاهده هستند. مایکل فاکس<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۰ معماری متحرک را این چنین تعریف کرد: "بنایی است با موقعیت متغیر و سیار و هندسه‌ای متغیر و متحرک (Fox, 2007). بنابراین مفهوم معماری متحرک در اصل یک مفهوم هوشمندانه نیست، اما نوعی توانایی را در ذهن متبادر می‌سازد که می‌تواند سازه‌ها را کنترل کند و اجزای مختلف آن را حرکت دهد.

اگرچه فضای معماری، فضایی کاملاً مشخص است، اما به دلایل مختلف ممکن است به تغییر در الگوهای طراحی و پیش‌بینی امکان تغییر در ساختار و عملکرد فضایی نیاز باشد. این نوع از معماری برای ساخت انواع نمایشگاه‌ها و غرفه‌های سیار، پناهگاه‌ها، سرپناه‌ها، اورژانس‌ها و بیمارستان‌های موقت، سالن‌های تئاتر و حتی سقف استادیوم‌ها و باشگاه‌های ورزشی چندمنظوره و گاه در فضاهای آموزشی و فرهنگی چندمنظوره به کار می‌رود. صنعتی بودن، انعطاف‌پذیری و سازگاری سیستم‌های ساختمانی یکی از روش‌های کلیدی برای به دست آوردن کیفیت، اقتصاد و پایداری کامل در معماری است.

## ۲. انعطاف پذیری

انعطاف‌پذیری به‌طور عام به قابلیت تغییر در اشیاء و اجسام گفته می‌شود. در معماری و طراحی محیط، منظور از واژه انعطاف‌پذیری ساماندهی فضای انسان ساخت و تغییر در آن به منظور دستیابی به شرایط، نیازها و کاربست‌های جدید است (عینی فر، ۱۳۸۲). برخی از فضاها بدون نیاز به ساماندهی مجدد بسیاری از فعالیت‌ها را تأمین می‌کنند و



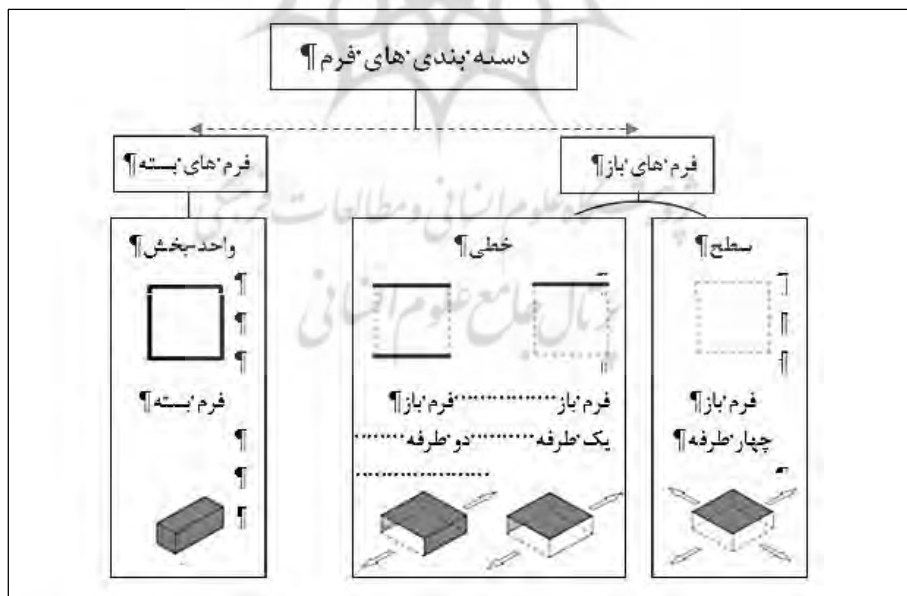
نگاره ۱: تقسیم‌بندی سیستم‌های سازه‌ای براساس شکل‌شناسی پناهگاه‌های سیار

## ۵- سازه، ساختار و فرم‌شناسی

### ۵-۱- فرم

شکل‌شناسی پناهگاه‌های سیار به تقسیم‌بندی سیستم‌های سازه‌ای آنها محدود می‌شود. اولین عامل تعیین‌کننده، ایستایی و پایداری است که پایه و اساس تمامی عوامل در طراحی پناهگاه‌های سیار است. اصول این عوامل عبارت است از فرم، ساخت و روش نصب.

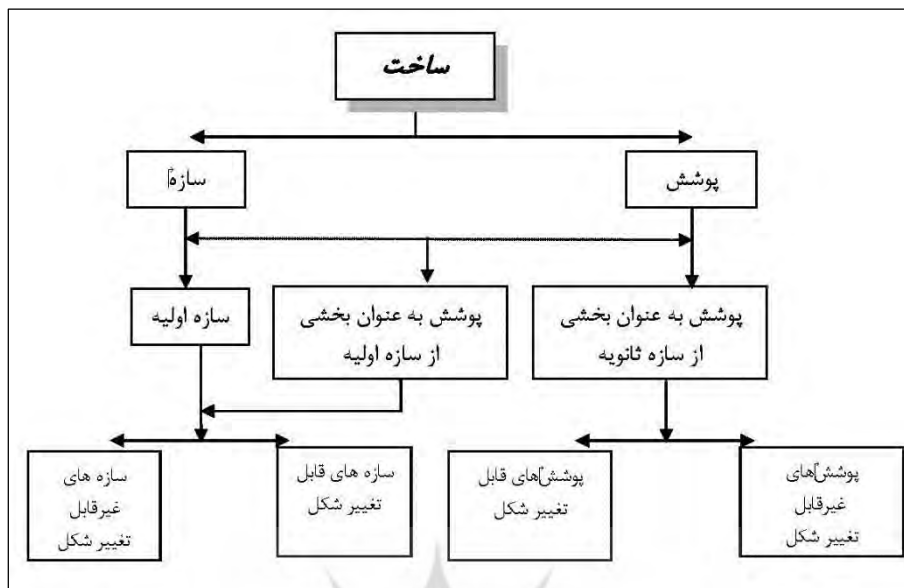
شکل‌شناسی پناهگاه‌های سیار به تقسیم‌بندی سیستم‌های سازه‌ای آنها محدود می‌شود. اولین عامل تعیین‌کننده، ایستایی و پایداری است که پایه و اساس تمامی عوامل در طراحی پناهگاه‌های سیار است. اصول این عوامل عبارت است از فرم، ساخت و روش نصب.



نگاره ۲: تقسیم‌بندی فرم باتوجه به سطح دسترسی و هندسه مقاطع (ماخذ: کنفرانس سیستم‌های سازه‌ای پناهگاه‌های سیار IASS (۲۰۰۴))

۵-۲- ساخت

ساخت در یک پناهگاه سیار شامل دو بخش کلی سازه و پوشش است.



نگاره ۳: تقسیم بندی فرم باتوجه به سطح دسترسی و هندسه مقاطع (ماخذ: کنفرانس سیستم های سازه ای پناهگاه های سیار IASS (۲۰۰۴))

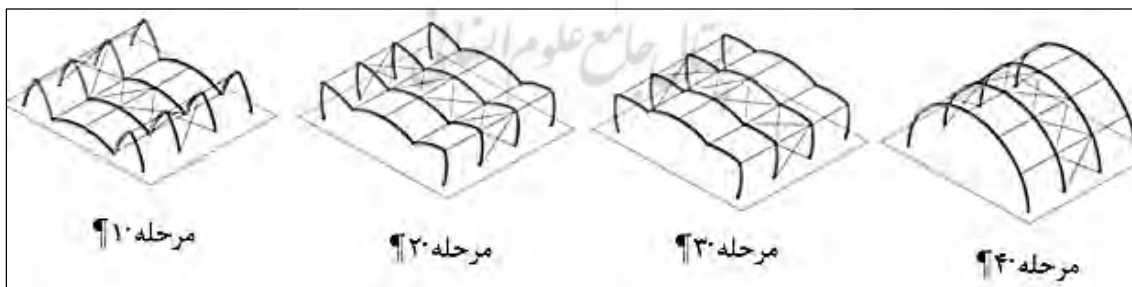
ایستایی برای توزیع بارهای اعمال شده و وزن سازه باشد. بنابراین به عنوان یک مکانیزم باید بتواند از یک شکل و فرم هندسی به شکلی دیگر برسد. اعضای سازه اصلی طی ساخت هنگامی که سیستم کامل شود، باید قادر به تغییر شکل باشند. تغییر شکل سازه باتوجه به فرایند تغییر فرم تعیین می شود. در گروهی از سازه ها اعضای سازه ای طی فرایند باز شدن به عنوان نتیجه ای از تغییرات هندسی در شکل کشیده می شوند.

۵-۲-۱- سازه

سه معیار و فاکتور در تعیین تقسیم بندی انواع سیستم های سازه ای اصلی در پناه گاه ها عبارت است از سلسله مراتب، شرایط نگهداری سیستم سازه ای و نسبت بین سازه و پوشش (Burford, 2004).

الف- سازه

یک سازه قابل تغییر، سازه ای است که قادر به تغییر فرم خود طی یک مکانیزم به فرم هندسی با قابلیت پایداری و



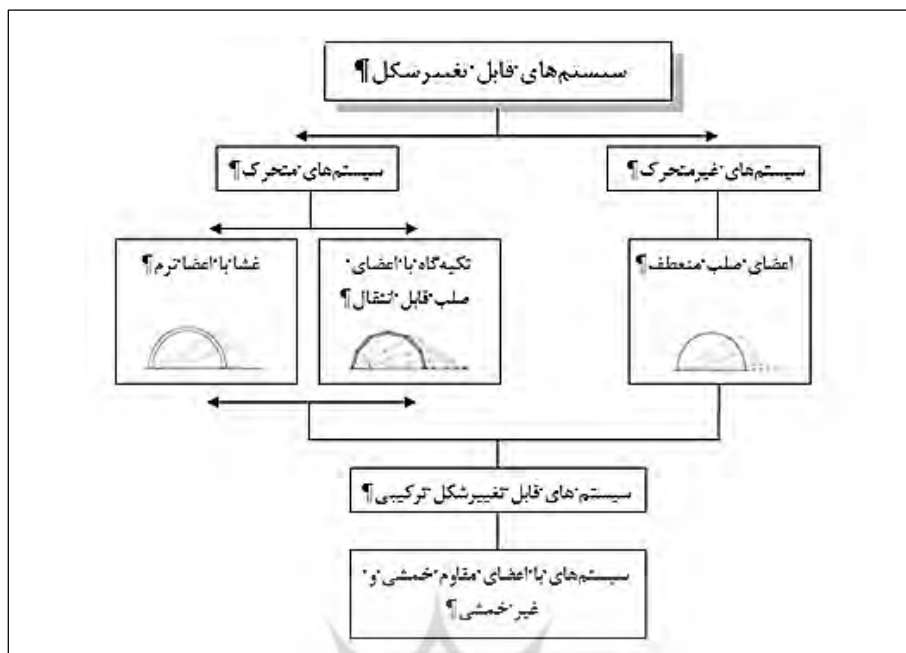
نگاره ۴: سیستم های قابل تغییر شکل با اعضای مفصلی و صلب (ماخذ: کنفرانس سیستم های سازه ای پناهگاه های سیار IASS (۲۰۰۴))

فرم یا هندسه سیستم سازه ای می تواند در فرایند مکانیزم شکل یا فرم اعضای سازه با ایجاد کشیدگی الاستیک داخل اعضا تغییر کند.

۲- سازه های متحرک: سیستم هایی متشکل از عضوهای صلب، فرم صلب و یا اتصال تکیه گاهی صلب و یا ترکیبی از این سه گزینه هستند (Burford, 2004).

سیستم های متحرک، سیستم های قابل تغییر شکلی هستند که از اعضای نرم، یا اعضای مفصلی صلب و سخت یا اعضای لغزشی تشکیل می شوند. سیستم های قابل تغییر شکل به سیستم های زیر تقسیم می شوند:

۱- سازه های غیرمتحرک: سیستم های قابل تغییر شکلی هستند که از اعضای سخت بدون مفصل ساخته می شوند و

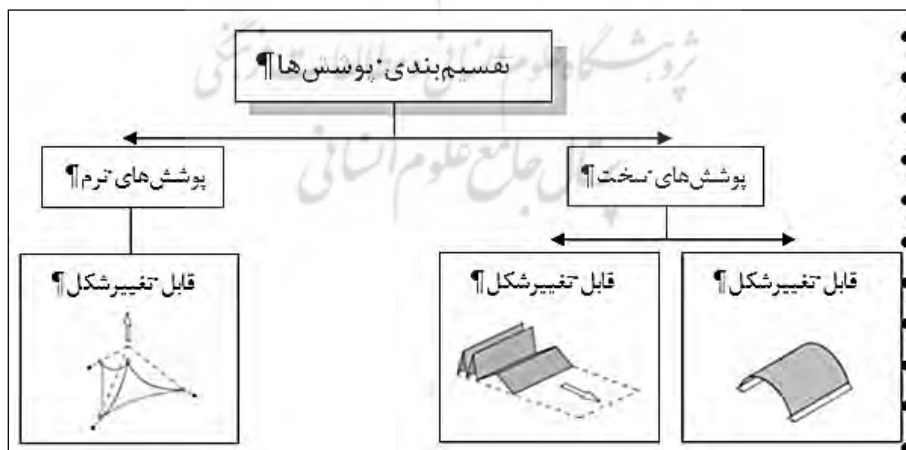


نگاره ۵: تقسیم‌بندی سیستم‌های قابل تغییر شکل (ماخذ: کنفرانس سیستم‌های سازه‌ای پناهگاه‌های سیار IASS (۲۰۰۴))

### ب- پوشش

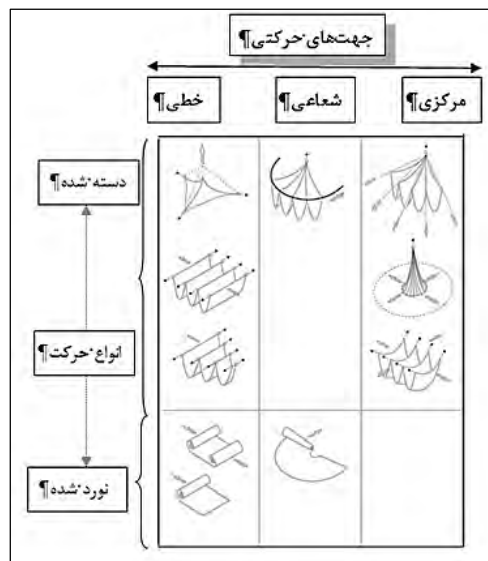
پوشش‌های سخت نیز به دلیل نوع اتصالات از جمله اتصالات لغزشی، لولاهای مفصلی و یا خمش‌های سطحی برای ایجاد یک شکل منحنی، قابل تغییر کل هستند. اما از آنجاکه نیاز سیستم‌های پناه‌گاه‌های سیار در کنترل محیط داخلی بیشتر است، لذا بیشترین استفاده در مصالح پوششی نرم سیستم‌هایی است که به راحتی باز و بسته می‌شوند (Alexnader, 1980).

پوشش‌ها را نیز می‌توان براساس آنچه که در سازه‌ها گفته شد به پوشش‌های متحرک و پوشش‌های ثابت (غیر متحرک) تقسیم‌بندی کرد: تمامی پوشش‌های نرم قابل تغییر شکل بوده که این نوع پوشش‌ها برای سیستم‌های پناه‌گاه‌های سیار مناسب‌ترند و



نگاره ۶: تقسیم‌بندی پوشش‌ها

پوشش‌های نرم به دلیل آنکه از مصالحی با مقاومت کششی و خمشی ساخته می‌شوند، قابل تغییر فرم بوده و نیروهای فشاری را انتقال نمی‌دهند. به‌طور عمده سه روش تاشدن<sup>۹</sup>، نورد کردن<sup>۱۰</sup> و دسته یا خوشه کردن<sup>۱۱</sup> برای ایجاد یک پوشش صاف به صورت یک سیستم فضایی وجود دارد.



نگاره ۷: تقسیم‌بندی پوشش‌های نرم

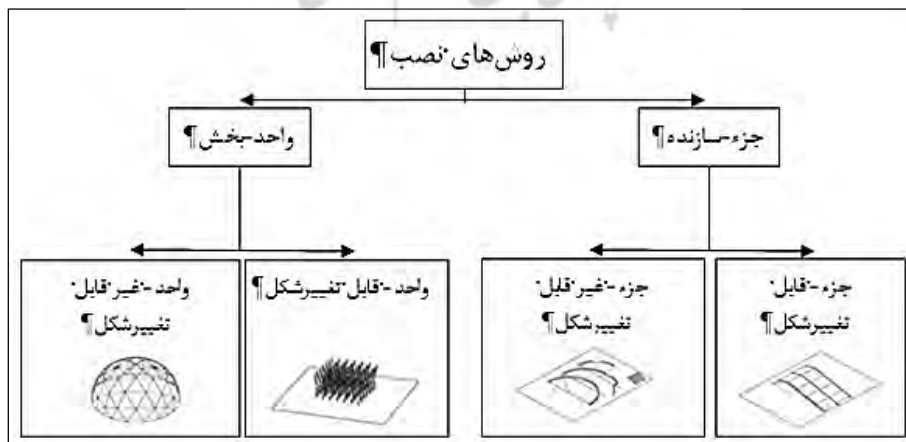
انواع متفاوتی از تغییرشکل‌ها برای پوشش‌های نرم وجود دارد که شامل متحرک، نورد شده و انواع حرکت‌های جهت دار، خطی، شعاعی و مرکزی است، که براساس فرم سازه، موقعیت یا چگونگی باز و بسته شدن پوشش روی سازه تعیین می‌شود.

### ۵-۳- روش نصب

سیستم‌های ساخت و نصب در پناهگاه‌های سیار به دو نوع تقسیم‌بندی می‌شوند: سیستم ساخت به صورت واحد<sup>۱۲</sup> و سیستم ساخت به صورت اجزا<sup>۱۳</sup>.

در روش واحد، اجزا از پیش آماده و سرهم گشته و در محل کارگاه تحویل و آماده نصب می‌شوند. اما در روش اجزا، بخش‌ها و عناصر سازه به صورت جدا در محل سایت و کارگاه تحویل داده شده و در محل سرهم و نصب می‌گردند.

پوشش‌های سخت دارای مقاومت و پایداری بوده و قادر به تحمل بارهای خارجی می‌باشند، درحالی‌که پوشش‌های غشایی و نرم از مصالحی ساخته می‌شوند که مقاومت برشی یا خمشی ندارند و باید فرم و یا تنش‌های کششی داخلی آنها را طراحی کرد. غشاها تنها نیروهای محوری سطح را تحمل می‌کنند، بنابراین شکل، فرم و پیش‌تنیدگی در آنها بسیار مهم است. کاربرد پوشش‌های غشایی بدون داشتن ویژگی منحنی‌های مضاعف و پیش‌تنیدگی به دهانه‌های کوچک محدود می‌شود. بنابراین پوشش غشایی در سیستم پناه‌گاه‌های سیار به دلیل فرم‌های معمول را می‌توان به چهار نوع مسطح، منحنی، فرم‌های با انحنا مضاعف (زین اسبی) و فرم‌های تک انحنا (گنبدی) تقسیم‌بندی کرد (Burford, 2004).



نگاره ۸: سیستم‌های ساخت و نصب در پناهگاه‌ها

- سیستم مدولار مثلثی امکان ایجاد بازشوه‌های محدود جهت ایجاد تهویه، در و پنجره را با حذف چندین مدول یا نیم مدول فراهم می‌سازد. شکل شماره ۳ اتصال ستاره‌ای شکل را در سیستم پناهگاه‌ها نشان می‌دهد.
- واحدها می‌توانند به آسانی از هم باز شده و بر روی زمین برای انبار کردن و حمل و نقل آماده شوند.

اتصال کمان‌ها به روش‌های زیر انجام می‌شود:

**الف- روش اتصال با میخ و پرچ:** مصالح به‌کار رفته از نوعی فیبر موجدار قوطی شکل است، که در اتصال پانل‌ها به یکدیگر از میخ یا پرچ با واشرهایی برای حفظ مدول‌های همجوار استفاده می‌شود.

**ب- استفاده از تاق‌هایی از صفحات فلزی و ستاره‌ای شکل:** در این روش علاوه بر صلبیت و سختی سازه و صفحات، یک اتصال ستاره‌ای شکل و پیش‌ساخته طراحی می‌شود. این اتصالات با حذف سوراخ‌ها در تقاطع صفحات صلب موجب تحمل بسیاری از تنش‌های کششی در میانه مدول‌ها می‌گردند. این صفحات فلزی به‌صورت زاویه‌دار روی لبه‌ها در تقاطع و یا رأس پانل‌ها قرار می‌گیرند و به‌وسیله مهره‌هایی به هم متصل می‌گردند. اما این اتصالات سنگین و

نحوه ساخت و شیوه اجرا وابسته به روش انتقال اجزا یا واحدها در سیستم‌های سیار پناهگاه‌ها و محدودیت‌های خاص آن از جمله اتصالات، مقیاس ساخت در بخش‌ها و واحدها، اندازه، وزن و حجم اجزا و واحدها است (Burford, 2004). ساخت، نصب و سرهم‌سازی به سه روش زیر امکان‌پذیر است:

الف- روش پیش‌ساختگی و طراحی مدولار؛

ب- روش نصب و سرهم‌سازی بخش‌های مجزا؛

ج- روش تغییر فرم و شکل سازه یا پوشش و یا هر دو

روش هم‌زمان (Burford, 2004).

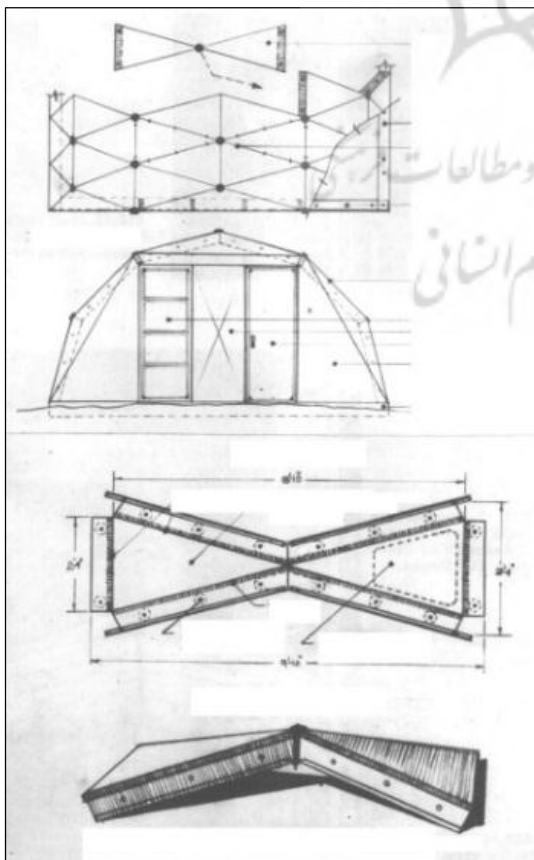
فرایند نصب در سیستم ساخت؛ از نصب بخش‌های مختلف اجزا آغاز شده تا به شکل و فرم نهایی مورد نظر می‌رسد. این فرایند می‌تواند تنها شامل روش نصب و سرهم‌سازی اعضای مجزا باشد، یا شامل یک یا تعداد بیشتری مسیر تغییر در یک روش ساخت و نصب بوده و یا اینکه شامل ترکیبی از تغییر شکل سازه‌ای و روش ساخت و نصب بخش‌های مجزا و جدا باشد. ایده‌های اولیه‌ای که در ابتدا برای پناهگاه‌ها مطرح بود، شامل سیستم‌های سازه‌ای هوای فشرده یا پرشده از هوا بوده و یا سازه‌هایی که در مکان و محل سایت با اجزا و عناصر جدا سرهم می‌گردند (Burford, 2004).

## ۶- روش‌های اجرای پناهگاه‌های سیار

### ۶-۱- تیرهای متصل و کمانی شکل مدولار

مجموعه مطالعات انجام شده روی تغییر شکل‌های هندسی و مختلف درزمینه مدول‌های فرم داده شده تیرهای کمانی (تویزه‌ای) نشان دهنده آن است که طرح تیرهای کمانی پیشرفت‌های بسیاری داشته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

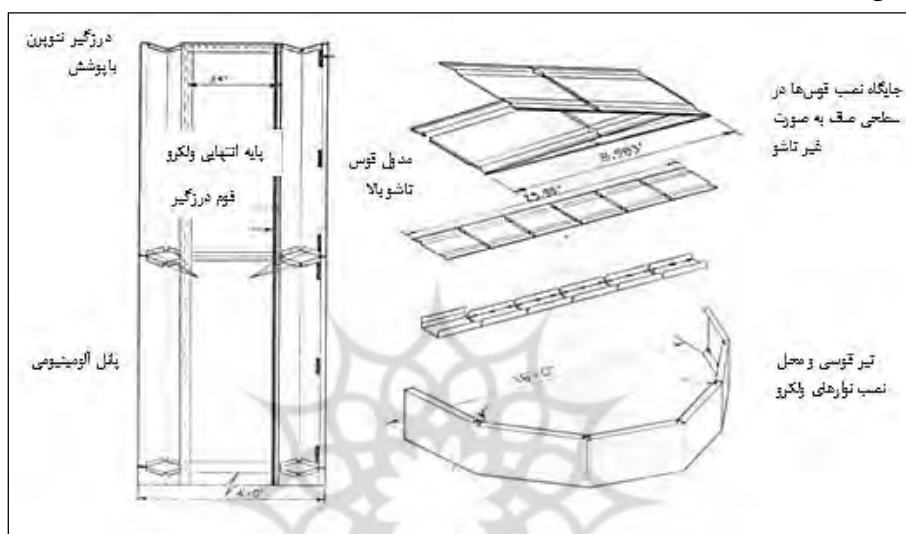
- داشتن مدول‌های پایه که شامل پانل‌های کامل و نیمه پانل‌ها است.
- سازه‌های مثلثی شکل و قوسی پانل‌ها؛ باعث ایجاد تنش‌های محوری و صلبیت در مدول‌ها می‌شود.
- نصب اجزای سازه از روی زمین و از درون سازه اتفاق می‌افتد.
- تویزه‌ها و تیرهای کمانی امکان نصب پارتیشن‌ها و مبلمان و انعطاف‌پذیری را در بخش‌های داخلی فراهم می‌کنند.
- توسعه خطی نامحدود.



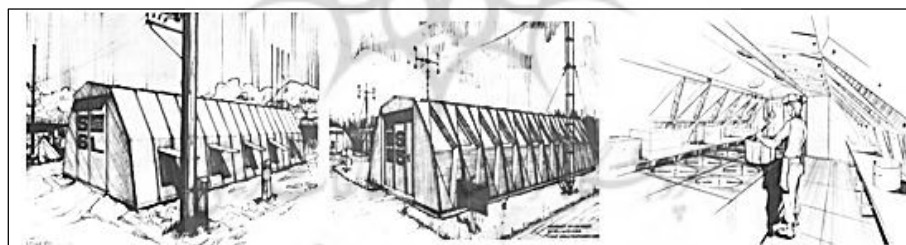
برای این نوع پناهگاه‌ها، مدول‌هایی به ابعاد ۹۵ سانتیمتر طول و ۴۰ سانتیمتر عرض برای ابعاد در و پنجره است که به صورت پیش‌ساخته بوده و در محل نصب می‌شوند. این مدول‌های تاشو، تویزه‌هایی تقویت شده با ورق آلومینیوم و واشر و پیچ دستی در محل اتصالات است و با اندودی از نوع اپوکسی و تفاوت رنگ در نمای داخلی و خارج روکش می‌شوند (Alexander, 1980).

حجم بوده و قوی‌تر از صفحات پانل‌های به کار رفته هستند و سبب افزایش وزن سیستم می‌گردند.

ج- کمان‌های (تویزه‌ها) تقویت شده با ورق‌های فلزی: این روش نوعی ساندویچ پانل است (Alexander, 1980) که شامل دو لایه کاغذ کرافت و یک لایه میانی از فوم یورتان بوده و ضخامت آن ۳/۵ تا ۹/۵ سانتیمتر است. تویزه‌ها مدول‌های تاشو هستند که با نوارهای آهنی گالوانیزه با مقطع ۱ تقویت می‌شوند. اندازه مشخص شده



نگاره ۹: طرح مدول‌های تاشو و لوزی شکل



نگاره ۱۰: قوس فرم داده در موقعیت افقی و حجم داخلی و خارجی<sup>۱۴</sup>

هنگام تاشدن مدول‌ها، زبانه و شیارهای کوچکی به عنوان نشانه روی قوس دیده می‌شود و لبه مدول‌های لوزی شکل به وسیله مجراهایی از جنس آلومینیوم پوشیده می‌شود. مقاومت کششی در این مدول‌ها به وسیله نوارها و تسمه‌هایی که (و با نام کارخانه‌ای ولکرو<sup>۱۶</sup> شناخته می‌شوند) به پایه‌ها متصل شده و به عنوان پوشش روی نمای تیر به کار می‌روند، حاصل می‌شود. نوارهای ولکرو برای اتصال قوس‌های همجوار داخلی و بیرونی قوس‌های اصلی به کار می‌رود. در نمای داخلی پناهگاه‌ها نوارهای ولکرو تیرهای نزدیک و مجاور هم را به هم وصل می‌کنند و در خارج یک نوار نئوپرن با پوشش نایلون روی لبه قوس چسبانده شده و قوس‌های مجاور هم را که به وسیله قلاب‌های ولکرو به

### ۶-۱-۲- طرح مدول‌های تاشو و لوزی شکل

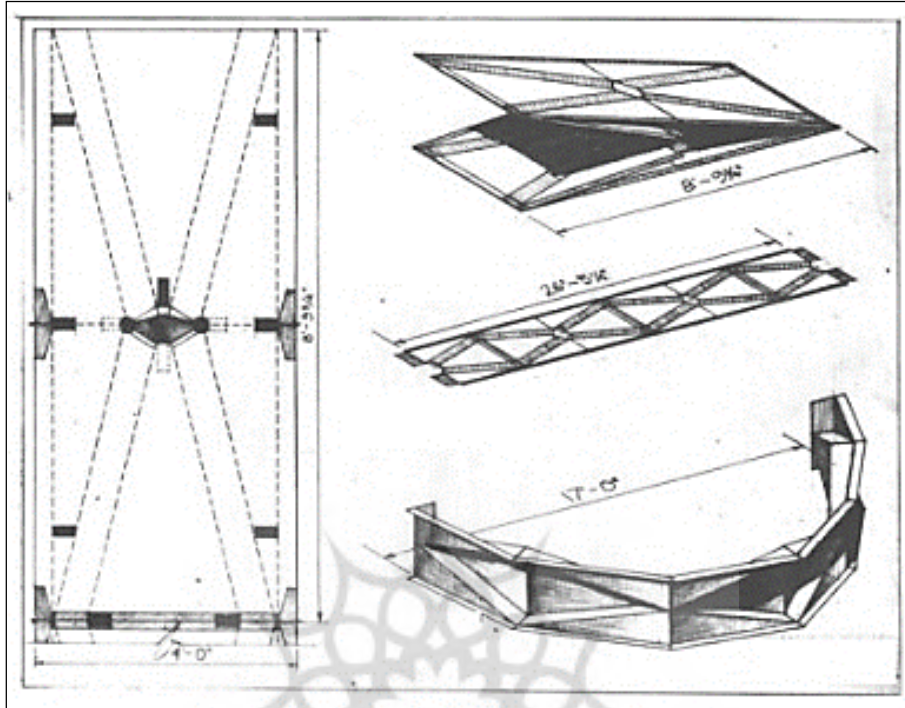
در این طرح از صفحات تاشو چهارگوش و مسطح استفاده می‌شود که متشکل از صفحاتی با هسته مرکزی از جنس پلی یورتان بوده و در آن مصالح کمتری به کار می‌رود. سه عدد از مدول‌ها در این فرم چهارگوش در کنار هم قرار گرفته و در حالت غیرتاشو یک قوس کامل را شکل می‌دهند.

### الف- طرح تیر تاشو<sup>۱۵</sup>

در این طرح یک قوس تاشو از اتصال سه پانل چهارگوش حاصل می‌شود، که هر مدول از عرض برای تاشدن آماده می‌گردد و به این ترتیب یک تیر با مقطع مثلثی فرم داده می‌شود. برای تقویت در برابر نیروهای فشاری و تنظیم



یکدیگر نزدیک شده‌اند را در محل درزها فشرده و حفظ می‌نماید. این درزگیرها در واقع نوعی واشر نئوپرن بوده که نوارهای ولکرو را هم راستا می‌نماید تا یک اتصال عایق در برابر رطوبت و هوا ایجاد کند (Alexander, 1980).

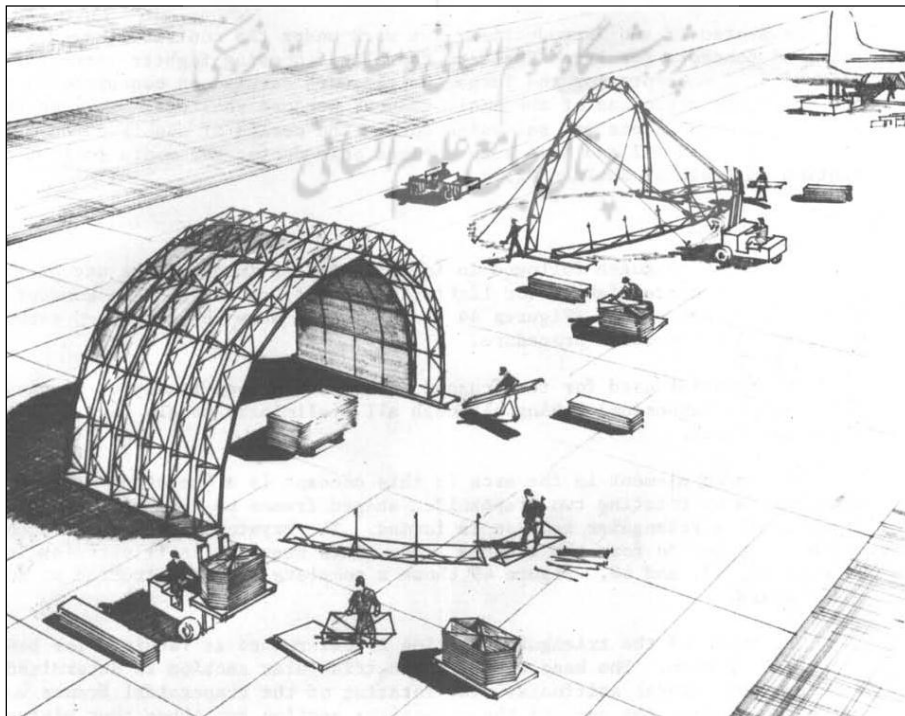


نگاره ۱۱: مدول‌های هندسی قوس تاشو

دوزنقه‌ای شکل با مقطع مثلثی است، عمق این مقاطع مثلثی برای یک تیر قوسی شکل خمشی تعیین و عرض پایه‌های این مقاطع برای مقاومت در برابر نیروهای مورب و جانبی تعیین و طراحی می‌شود.

#### ۲-۶- پناهگاه‌های بزرگ

در این پناهگاه‌ها قوس‌های خرابی از جنس آلومینیوم و یا منیزیم با اعضای قوطی شکل و نوعی پوشش فلزی سبک ساخته می‌شوند. اساس این اعضا در قوس، قاب‌های



نگاره ۱۲: نمونه‌ای از پناهگاه‌های بزرگ

## ۶-۲-۱- گزینه‌های طراحی

- قوس سه مفصلی: در این حالت بال چپ و راست قوس در مرکز با یک مفصل به هم متصل شده و سپس در محل کارگاه با جرثقیل به وسیله کابل‌های مابین بال‌های چپ و راست قوس و نقطه مفصلی به بالا کشیده شده تا به فرم نهایی خود می‌رسد.
- سازه کششی: نوعی سازه کششی با طرح مدول‌های شش وجهی است که به وسیله دکل‌های فشار قوی و کابل‌های کششی نگهدارنده پوشش غشایی برپا می‌شود.
- قوس فشاری: شامل پوسته‌هایی ساخته شده از ورق پلاستیک است که در لبه‌ها با نوعی پیچ دستی هم پوشانی دارند و صلیبیت و سختی را در اطراف سازه ایجاد می‌نمایند.
- ترکیب قوس خریابی و پانل‌های عایق حرارتی
- استفاده از سازه‌های فضاکار

## ۶-۳- سیستم‌های سازه‌ای با سرعت و سهولت

### بازوبسته شدن

سیستم پناهگاهی M28 که توسط ارتش امریکا طراحی گردید، سازه‌ای متشکل از تیرهای پر شده از هواست، که با کابل‌های کششی و یک قاب فلزی صلب منطبق با عملکردهای مختلف در هر شرایطی حفظ و نگهداری می‌شود و یک مدول غشایی قابل توسعه را فراهم می‌سازد. اولین پناهگاه‌های باز و بسته شونده در سال ۱۹۶۰ طراحی شد. این سیستم‌ها که تحت عنوان M-S1 شناخته می‌شوند شامل تریلر حمل، نگهدارنده‌ها، منابع تولید نیرو، واحدهای کنترل محیط و تجهیزات فیلتر هوا هستند، که از دیوارهای دو جداره با سازه هوای فشرده و سطح اشغال ۱۸ مترمربع ساخته می‌شوند. ساختار این نوع پناهگاه‌ها دیوار غشایی دو لایه از پارچه چند لایه<sup>۱۷</sup> با پوشش نئوپرن با تنظیم فشار هوای داخل آن است که به صورت یک اتاقک پیش ساخته توسط ۵ نفر در ۳۰ دقیقه نصب و برپا می‌شوند. ابعاد داخلی این سازه ۲/۲۵ متر ارتفاع، ۴/۵ متر عرض و ۴/۲ متر طول است. همچنین در بخش ورودی این پناهگاه یک سازه هوای فشرده به ابعاد ۲/۱ × ۱ × ۳/۳ متر قرار می‌گیرد (Verge, 2001).

اما ارتش به سازه‌هایی با وزن کمتر، واحدهایی با حجم کمتر و نصب و سرهم‌سازی سریع‌تر نسبت به سیستم M-S1 نیاز داشت. پیشرفت در سازه‌های هوای فشرده، موجب اضافه شدن عضوهای سازه‌ای از جمله تیرهای پر شده از هوا بود که باعث استفاده از قوس‌هایی با تنظیم فشار هوای

داخلی آنها که قادرند در دهانه‌های ۵/۴ متری با بار برف ۱۰ psf - ۵ و نیروی ۳۰ mph باد را تحمل کند، شد. در چنین حالتی قطر تیرها حدود ۳۵ - ۲۷/۵ سانتیمتر خواهد بود. این پارامترها براساس کشش مورد نیاز در دیواره قوس‌ها مطرح می‌شود که برابر است با حداکثر نیروی تنش‌های خمشی که از خارج وارد می‌شود. اجزای استوانه‌ها به گونه‌ای انتخاب شده که قابل باز شدن و حمل و نقل بوده و از جنس نوعی نایلون است. ابعاد فضاهای داخلی در این سیستم ۳ × ۵/۴ × ۵/۴ متر و دارای ۳۶ مترمربع سطح زیربناست. مصالح مختلفی برای این نوع سیستم طراحی و آزمایش شد که شامل نایلون، تفلون، کندونیل، پلی استر و نئوپرن بود که در نهایت تفلون با نوعی پوشش مخصوص (Fowler, 1986) انتخاب شد که این پوشش مقاومت حرارتی پوسته را نیز افزایش می‌دهد (Verge, 2001).

روش نصب این سیستم به گونه‌ای است که هم‌زمان با باز شدن قوس‌ها یک قاب نگهدارنده نیز به کار می‌رود. این قاب نگهدارنده همان هندسه پروفیل غشاهای استفاده شده از جنس تفلون را دارد که با ۵ میله کامپوزیت فایبرگلاس با کابل‌های پیش تنیده حفظ می‌شود. میله‌های فایبرگلاس به ضخامت و قطر ۲/۵ سانتیمتر به کار می‌رود و انتخاب آن به دلیل انعطاف‌پذیری و مقاومت زیاد در برابر تنش است، سطح مقطع این میله‌ها می‌تواند مربع و یا دایره باشد (Amy, 2001). استفاده از میله کامپوزیت با کابل کششی به عنوان عضو کششی و فشاری توأم در سازه عمل می‌کند. بنابراین بارهای کششی اعمال شده بر روی پناهگاه به کابل و فشار و تنش به میله‌ها منتقل می‌شوند و نگهدارنده‌های جانبی برای جلوگیری از کمانش در برابر نیروهای جانبی روی این سیستم به مراتب بسیار کمتر از سیستم هوای فشرده و قاب صلب است. مصالح سیستم پناهگاه تفلون بوده اما در مورد قوس‌ها از نئوپرن بافته شده با نایلون است که به دلیل عایق‌بندی لایه نئوپرن مابین دولایه نایلون قرار می‌گیرد (Fowler, 1986).

## ۶-۴- طراحی پناهگاه‌های موقت و سیار

روش‌های زیر برای طراحی و اجرای پناهگاه‌های موقت و سیار در بسیاری از کشورهای جهان به کار گرفته می‌شوند.

۱- استفاده از تیر قوسی شکل تا شو با واحدهای قابل انتقال روی یک شبکه سه طرفه: این سیستم یک سازه باز و بسته شونده تک منحنی و ترکیبی از واحدهای قابل انتقال بر روی یک شبکه سه طرفه است که فرم آن یک شکل نیمه استوانه بوده و اساس آن واحدهای قیچی‌سان قابل انتقال

می‌باشد، تا فرم یک سازه مشبک دولایه را فراهم سازد. این واحدهای قیچی سان بر روی یک شبکه سه طرفه مثلثی شکل (که در پایداری سازه نقش به‌سزایی دارد)، قرار می‌گیرند. سرانجام یک پوشش غشایی کششی از جنس پلی‌استر با روکش PVC به این سازه میله آلومینیومی نصب می‌شود. این سازه دارای ۱۰ متر طول، ۱۳ متر ارتفاع و ۶ متر دهانه است (Fowler, 1986).

۲- استفاده از یک تیر قوسی باز و بسته شونده و انتقال واحدها بر روی یک شبکه دو طرفه: انتقال واحدهای قیچی‌سان روی یک شبکه دو طرفه و مورب صورت می‌گیرد و دو نیم‌کره در انتهای سازه‌ها به انتهای قوس اضافه می‌گردد (Fowler, 1986).

### نتیجه گیری

۳- استفاده از سازه میله‌ای باز و بسته شونده که اساس آن بر هندسه و رفتار متحرک سازه‌های صفحه‌ای تاشو است که همانند هنر سازه‌های کاغذی تاشو عمل می‌کند. اما در اینجا به جای یک صفحه تاشو می‌توان از میله‌های نازک آلومینیومی با اتصالات مفصلی استفاده کرد.

۴- استفاده از دکل‌های باز و بسته شونده با اجزای زاویه‌دار: این طرح یک سازه خطی باز و بسته شونده با واحدهای قیچی‌سان زاویه‌دار خواهد بود که به عنوان یک دکل برای یک سطح سازه کششی موقت به کار می‌رود و به عنوان یک عضو فعال در طول طول فرایند نصب عمل می‌کند (Zuc, 1970).

با توجه به مطالب ارائه شده در این مقاله می‌توان نتیجه گرفت که ساده‌ترین راهکار برای پناهگاه‌ها ساختمان‌هایی است که برای قرارگیری و قابل استفاده بودن در مکان و موقعیت‌های مختلف قابل استفاده باشد. انعطاف‌پذیری به عنوان روشی با قابلیت حمل و نقل و انتقال در یک سازه پایدار می‌تواند در ساختار اصلی و پوشش آن در نظر گرفته شود. بنابراین یکی از راهکارهای پیشنهاد شده که قادر است انواع مختلفی از ساخت اشکال ساختمان‌های پناه‌گاهی را دربرگیرد، عناصر ساخت کارخانه‌ای است که به عنوان یک بخش کامل و آماده در کارخانه ساخته شده و به سرعت به محل اجرا منتقل و در محل خود نصب و جای‌گذاری می‌گردد. نوع دیگر از روش‌های پناه‌گاه‌های قابل انتقال، ترکیبی از سیستم‌های مدولار است که به آسانی قابل انتقال بوده و به سرعت در محل نصب می‌شوند. این روش بیشترین سطح انعطاف‌پذیری را برای قابلیت انطباق با محیط‌های مختلف داراست. بنابراین با توجه به اهمیت پروژه‌ها و قابلیت انتقال ساختمان‌ها در صورت طراحی آنها در کارخانه، راه‌حل مناسبی برای سرعت باز و بسته شدن و قابلیت دسترسی آنها در زمان مکان‌های مختلف است. بسیاری از گزینه‌های ساخت پناه‌گاه‌ها مانند پانل‌های یکپارچه، قاب‌ها، سازه‌های غشایی و سیستم‌های هوای فشرده برای تولید انواع فرم در ساختمان‌ها و ساخت به‌کار گرفته می‌شوند.

آنچه که از بخش اول این مقاله نتیجه می‌شود دسته‌بندی سیستم‌های سازه‌ای برای پناه‌گاه‌های سیار است که باتوجه به موقعیت زمانی و مکانی و جابه‌جایی و قابلیت انتقال بین فضاها و تغییرات فرم آنها طراحی می‌شوند و باید قابلیت انتقال و حمل و نقل را داشته و نصب و سرهم‌سازی آنها آسان و سریع باشد. اولین عامل تعیین‌کننده شکل‌شناسی پناه‌گاه‌های سیار، پایداری و ایستایی آن است که پایه و اساس دیگر عوامل طراحی چنین ساختمان‌هایی است. فرم سیستم پناه‌گاه‌ها با توجه به درجه احاطه شدن فضا و مرز فضاهای بسته و باز طراحی و دسته‌بندی می‌شود و ساخت و اجرای یک پناه‌گاه سیار شامل دو بخش کلی سازه و پوشش است.

آنچه که از بررسی نمونه‌ها و انواع روش‌های اجرای پناه‌گاه‌های سیار نتیجه می‌شود، طرح تیرهای کمّانی شکل مدولار است که با طرح مدول‌های تیر تاشو و لوزی شکل قابل اجراست. همچنین برای اجرای پناه‌گاه‌های بزرگ می‌توان از قوس‌های خرپایی سه مفصلی، دکل‌های فشاری با کابل‌های کششی نگهدارنده یا قوس‌های فشاری به عنوان سازه اصلی استفاده کرد. برای برپایی پناه‌گاه‌هایی با سرعت سهولت باز و بسته شدن نیز از قاب‌های مدولار قوسی و پوشش پارچه به عنوان روش‌های معمول می‌توان استفاده نمود.

## پی نوشت ها

1. Micheal Fox
2. Buckminster Fuller
3. Emilio Pérez Pinero
4. Iris Dome
5. Chuck Hoberman
6. Brayant Yeh
7. Cable Scissors Arch
8. Kokawa
9. Folding
10. Rolling
11. Flaking- Bunching
12. Unit
13. Component

۱۴. مشخصات سازه قوس با تیر تاشو عبارت است از: پانلهایی با هسته عایق حرارتی با نصب نوارهای ولکرو روی آن. تیرهای اصلی، درزگیر تیرهای اصلی و پانلهای ابتدا و انتهای پناهگاه. تیرهای اصلی از جنس آلومینیوم پیش ساخته، عایق بندی شامل پانلهایی با ضخامت ۲/۵ سانتیمتر، پر شده با فوم پلی یورتان و متصل به نوارهای ولکرو، نورگیرها از جنس صفحات اکریلیک به ضخامت ۶ میلیمتر.

15. Fold Beam
16. Velcro
17. Laminated Fabric

## فهرست منابع

۱. عینی فر، علیرضا؛ ۱۳۸۲؛ الگویی برای تحلیل انعطاف پذیری در مسکن سنتی ایران. نشریه هنرهای زیبا، شماره ۱۳.
۲. لنگ، جان؛ ۱۳۸۱؛ آفرینش نظریه معماری، نقش علوم رفتاری در طراحی محیط. ترجمه علیرضا عینی فر، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران؛ چاپ اول.
۳. ونتوری، رابرت؛ ۱۳۵۷؛ پیچیدگی و تضاد در معماری، ترجمه محمود بشارتی راد و واهان پزشکیان. نشر نی.
4. Alexander, JAMES. M. (1980), **Lightweighth -Expandable-Support Shelter System**, College of Design Architecture & Art University Of Cincinnati, A collaborative design project accomplished by Junior Architecture and Industrial Design students, College of Design, Architecture, and Art, University of Cincinnati, USA.
5. Burford, N. and C. Gengnagel (2004), **A Morphology of Mobile Shelter Systems**, Conference Proceedings IASS Symposium, France.
6. Fox, M. (2007), **Flexible: Architecture that Responds to Change**, Laurence King Publishers.
7. Folwer, Walter and Mark Sinofsky (1986), **Development of a Frame and Fabric Battalion Aid Station**, Natick/TR-88/036L, ChemFab New York, Inc., Buffalo, NY 14225.
8. Fowler, Walter and Mark Sinofsky (1986), **Development of an Improved Air-Supported Battalion Aid Station**, Natick/TR-88/029L, ChemFab New York, Inc., Buffalo, NY 14225.
9. Fowler, Walter and Mark Sinofsky (1987), **Development of Trailerless Collective Protection Shelter**, Natick/TR-88/028L, ChemFab New York, Inc., Buffalo, NY 14225.
10. Verge, Amy Soo (2001), **Rapidly Deployable Structures In Collective Protection Systems**. [natick.army.mil/soldier/jocotas/ColPro\\_Papers/Verge.pdf](http://natick.army.mil/soldier/jocotas/ColPro_Papers/Verge.pdf)
11. Zuk, William and Roger Clark (1970), **Kinetic Architecture**, Van Nostrand Reinhold, New York, USA
12. <http://www-civ.eng.cam.ac.uk/dsl/>, 2008
13. <http://www.drash.com.2004>
14. <http://www.kinetic-art.org>, 2008
15. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00457949>, 2008
16. <http://ww.usgbc.org>, 2009
17. <http://www.censdta.com>, 2009
18. <http://airchange.ir/>