بسم الله الرحمن الرحيم

۹۳۱۴۷

دانشکده فنی مهندسی عمران

گروه سازه

پایان‌نامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته سازه

عنوان

بهینه‌سازی سازه‌های فضاکار خرپایی با روش ACO

استاد راهنما

دکتر بهمن فرهمندآذر

استاد مشاور

دکتر ناصر تقی‌زادیه

پژوهشگر

سیامک طلعت اهری

شهریور ۸۶

۱۳۸۷/۲/۸

۹۲۱۴۷

نام خانوادگی دانشجو: طلعت‌اهری **نام:** سیامک

عنوان پایان نامه: بهینه‌سازی سازه‌های فضاکار خرپایی با روش ACO

استاد راهنما: دکتر بهمن فرهمندآذر

استاد مشاور: دکتر ناصر تقی‌زادیه

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** عمران **گرایش:** سازه **دانشگاه:** تبریز

دانشکده: مهندسی عمران **تاریخ فارغ التحصیلی:** شهریور ۱۳۸۶ **تعداد صفحه:** ۱۳۰

کلید واژه‌ها: بهینه‌سازی سازه‌ها، روش اجتماع مورچه‌ها، مکانیزم Sub-Optimization، طراحی خرپا، مکانیزم حافظه پخش

چکیده:

روش اجتماع مورچه‌ها یکی از الگوریتمهای بسیار موفق فراکاوشی در زمینه‌های مختلف بهینه‌سازی بوده و بسیار شبیه الگوریتم ژنتیک عمل می‌کند. علیرغم این حقیقت، در زمینه بهینه‌سازی سازه‌های خرپایی به خصوص در مورد مسائل با فضای جستجوی بزرگ، روش اجتماع مورچه‌ها بسیار وقت‌گیر می‌باشد. در این پایان‌نامه دو مکانیزم برای حل این مشکل و بهبود الگوریتم اجتماع مورچه‌ها پیشنهاد گردید. اولی، مکانیزم Sub-Optimization بود که فضای جستجو را به نواحی کوچکتر تقسیم کرده و در طی پروسه بهینه‌یابی مناطق نامطلوب را حذف می‌کند. این مکانیزم فضای جستجو، اندازه ماتریس فرومون و اندازه بردار تصمیم را کاهش می‌دهد بطوریکه نتایج نهایی در زمان کمتر و با احتمال زیادتری حاصل می‌شوند. دومی، مکانیزم حافظه پخش می‌باشد که در آن ماتریس مربوط به نحوه پخش بهترین جواب مورد استفاده قرار می‌گیرد. ویژگی این مکانیزم امکان کاهش تعداد مورچه‌ها و در نتیجه تعداد تحلیلها است. کارایی مکانیزمهای جدید برای طراحی بهینه انواع مختلف خرپاها با استفاده از ACS و AS_{rank} مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصل کارآمدی مکانیزمهای جدید را به اثبات می‌رساند.

مقدمه:

امروزه سازه‌های فضاکار با توجه به کاربردهای گوناگون آن بیش از پیش اهمیت پیدا کرده‌اند. شاید علت استفاده فراوان از این نوع سازه‌ها را بتوان در مقرون به صرفه بودن، راحتی اجرا، عدم نیاز به تخصصی ویژه برای اجرا و نیاز امروز بشر به سازه‌هایی با دهانه بزرگ بدون ستون مرکزی را نام برد. یکی از انواع سازه‌های فضاکار پرکاربرد سازه‌های فضاکار خرپایی می‌باشند.

تحقیقات زیادی در مورد انواع مختلف روشهای بهینه‌سازی خرپاها انجام شده است؛ یکی از جدیدترین روشهای فراکاوشی روش بهینه‌سازی اجتماع مورچه‌ها می‌باشد. در طی سالیان مطالعه و مشاهده، محققان دریافته‌اند که مورچه‌ها گرچه تقریباً به طور کامل نابینا هستند، می‌توانند به طور موافقیت‌آمیز خود را بین لانه و منابع غذایی، هدایت کنند و طی این فرایند کوتاهترین راه را کشف می‌کنند، بدین صورت که آقای Colorni و همکارانش پس از انجام بررسیهای متعدد نشان داد که مورچه‌ها مسیر بین غذا و لانه خود را در ابتدا به صورت کاملاً رندوم انتخاب می‌کنند ولی به علت اثری که از خود هنگام حرکت روی زمین بر جای می‌گذارند، کم‌کم پس از طی چندین دور رفت و برگشت بین غذا و لانه و افزایش اثر برجای مانده در مسیر کوتاهتر، نهایتاً همگی درکوتاهترین مسیر حرکت می‌کنند. در سالهای بعد این مشاهدات زمینه ایجاد روشی جدید برای مسائل بهینه‌سازی گسسته توسط آقای Dorigo را به وجود آورد. هدف این پایان‌نامه بهینه‌سازی سازه‌های فضاکار خرپایی با استفاده از این روش جدید می‌باشد.

در فصل اول به معرفی سازه‌های خرپایی، کاربرد و مزایای آنها می‌پردازیم؛ در فصل دوم تعریف بهینه‌سازی و کلیاتی درباره آن و مفاهیم اساسی بهینه‌سازی و همچنین شاخه‌های مختلف بهینه‌سازی خرپاها را بررسی می‌کنیم. در فصل سوم کلیات و اصول اساسی روش بهینه‌سازی اجتماع مورچه‌ها، انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی اجتماع مورچه‌ها و جزئیات الگوریتم‌هایی که در این پایان‌نامه از آنها استفاده شده است، معرفی می‌شود. فصل چهار شامل بیان چگونگی بهینه‌سازی خرپاها با روش اجتماع مورچه‌ها می‌باشد. در این فصل برای بهبود الگوریتم اجتماع مورچه‌ها دو مکانیزم معرفی شده‌اند. مکانیزم **Sub-Optimization** با حذف فضای نامطلوب با پیشرفت روند بهینه‌سازی جستجو را به سمت فضای مطلوب سوق داده، با کاهش ابعاد ماتریس فرومون زمینه کاهش زمان بهینه‌یابی را فراهم می‌کند. مکانیزم دوم با نام مکانیزم حافظه پخش با یافتن بهترین نحوه پخش مورچه‌ها امکان کاهش تعداد مورچه‌ها بدون کاهش قدرت الگوریتم را فراهم می‌کند. پایان بخش این فصل حل عددی چندین مثال محک در زمینه بهینه‌سازی خرپاها و مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج سایر روشهای بهینه‌یابی می‌باشد.

در پایان نتایج مطالعه حاضر و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی آورده شده است.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده

مقدمه

بخش اول: بررسی منابع

فصل اول: سازه‌های فضاکار خرپایی

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- مزایای سازه‌های فضاکارخرپایی ٤

۱-۳- انواع سازه‌های فضاکارخرپایی ۷

فصل دوم: بهینه‌سازی (تعاریف و شاخه‌ها)

۲-۱- مقدمه ۱٤

۲-۲- تعریف بهینه‌سازی ۱۵

۲-۳- متغییرهای طراحی ۱٦

۲-٤- فضای جستجو ۱٦

۲-۵- توابع محدودیتی یا قیود ۱۷

۲-٦- انواع قیود در خرپاها ۱۸

۲-۷- تابع هدف ۲۰

۲-۸- استراتژیهای جستجو ۲۱

۲-۹- جستجوی کلی و جستجوی محلی ۲٤

۲-۱۰- بهینه‌سازی پیوسته و گسسته ۲۵

۲-۱۱- چشم اندازهای بهینه‌سازی سازه‌ها ۲٦

۲-۱۲- روشهای بهینه‌سازی سازه‌ها ۲۸

بخش دوم: مواد و روشها

فصل سوم: اصول بهینه‌سازی با روش اجتماع مورچه‌ها

۳-۱- مقدمه ۳۱

۳-۲- رفتار کلونی مورچه‌ها ۳۲

۳-۳- شباهتها و تفاوتها با مورچه‌های واقعی ٤۱

۳-٤- اساس روش بهینه‌سازی اجتماع مورچه‌ها ۳۲

۳-۵- الگوریتم‌های بهینه‌سازی اجتماع مورچه‌ها ٤۷

۳-۵-۱- مسأله فروشنده سیار ٤۹

۳-۵-۲- الگوریتم Ant System ۵۰

۳-۵-۳- الگوریتم Ant Colony System ۵۵

۳-۵-٤- الگوریتم Max-Min Ant System ۵۷

۳-۵-۵- الگوریتم AS_{rank} ۵۸

بخش سوم: نتایج و بحث

فصل چهارم: بهینه‌سازی خرپاهای فضاکار با روش اجتماع مورچه‌ها

٤-۱- مقدمه ۶۰

٤-۲- بیان مسأله بهینه‌سازی خرپاها ۶۲

٤-۳- بهینه‌سازی خرپاها با روش اجتماع مورچه‌ها ۶۷

٤-۳-۱- تعریف راههای مجازی ۶۷

٤-۳-۲- تعریف تابع تصمیم مورچه ۶۸

٤-۳-۳- معرفی بینایی ۶۹

٤-۳-٤- گروه‌بندی اعضاء ۷۰

٤-۳-۵- نحوه حرکت مورچه‌ها ۷۲

٤-۳-۶- تعریف بردار توزیع مورچه ۷۲

٤-۳-۷- معرفی ماتریس فرومون ۷۳

٤-٣-٨- به روز رسانی فرومون ٧٤
٤-٤- معرفی مکانیزم Sub-Optimization ٧٥
٤-٥- پارامترهای طراحی ٧٨
٤-٦- معرفی مکانیزم حافظه پخش ٧٩
٤-٧- فواید مکانیزمهای جدید ٩١
٤-٧-١- کاهش فضای جستجو ٩١
٤-٧-٢- کاهش تعداد مورچه‌ها ٩١
٤-٧-٣- کاهش تعداد تحلیلهای سازه ٩٢
٤-٧-٤- کاهش محاسبات مربوط به ماتریس فرومون و بردار تصمیم ٩٢
٤-٧-٥- امکان گروه‌بندی ٩٣
٤-٧-٦- امکان حذف محدودیتهای غیرفعال ٩٤
٤-٧-٧- جستجوی محلی و کلی ٩٥
٤-٧-٨- بهینه‌سازی پیوسته ٩٥
٤-٨- نمونه‌های طراحی ٩٦
٤-٨-١- خرپای دو بعدی هفده عضوی ٩٧
٤-٨-٢- خرپای دو بعدی هیجده عضوی ٩٩
٤-٨-٣- خرپای فضایی بیست و دو عضوی ١٠١
٤-٨-٤- خرپای فضایی بیست و پنج عضوی ١٠٥
٤-٨-٥- خرپای فضایی هفتاد و دو عضوی ١١٠
٤-٨-٦- گنبد صد و بیست عضوی ١١٤

نتیجه گیری ١١٩
پیشنهاد برای کارهای آینده ١٢١
منابع
چکیده انگلیسی

فهرست اشکال

عنوان | صفحه

شکل ۱-۱- فرمهای متنوع پوشش های خرپایی برای دهانه های بزرگ..... ٤
شکل۱-۲- چند نمونه شبکه دو لایه مسطح ۸
شکل۱-۳- چند نمونه چلیک ۹
شکل۱-٤- چند نمونه گنبد ۱۰
شکل۱-۵- نمونه‌ای از پوشش خرپایی نیم بشکه‌ای در صنعت..... ۱۱
شکل۲-۱- فضای مطلوب و نامطلوب..... ۱۸
شکل۳-۱- حرکت مورچه های واقعی هنگام ایجاد مانع ۳۲
شکل۳-۲- حرکت مورچه های واقعی و اثر فرومون بر جای مانده در مسیر کوتاهتر ۳٤
شکل ۳-۳- آزمایش پل دو راهی مساوی و متقارن (سمت چپ) و نتایج آن (سمت راست..... ۳۵
شکل ۳-٤- آزمایش دو پل دو راهی با طولهای متفاوت و نتایج حاصل..... ۳۷
شکل ٤-۱- راههای مجازی برای عضو ij ٦۷
شکل ٤-۲- راههای مجازی برای یک خرپای مفروض ٦۸
شکل ٤-۳- راههای مجازی برای گروههای خرپا ۷۱
شکل ٤-٤- هندسه و شرایط تکیه‌گاهی خرپای ده عضوی ۸۰
شکل ٤-۵- نحوه همگرایی خرپای ده عضوی تحت بارگذاری حالت اول ۸۱
شکل ٤-۶- نحوه همگرایی خرپای ده عضوی تحت بارگذاری حالت دوم ۸۲
شکل ٤-۷- مقایسه بهترین و بدترین نتایج به دست آمده از صد بار اجرا با مکانیزم تکرار(پنج بار)... ۸٤
شکل ٤-۸- مقایسه بهترین و بدترین نتایج به دست آمده از صد بار اجرا با مکانیزم تکرار(ده بار)..... ۸۵
شکل ٤-۹- نحوه همگرایی با استفاده از روش ACS ۸۹
شکل ٤-۱۰- نحوه همگرایی با استفاده از روش AS_{rank}..... ۹۰
شکل ٤-۱۱- هندسه و شرایط تکیه‌گاهی خرپای هفده عضوی ۹۷
شکل ٤-۱۲- نحوه همگرایی با استفاده از روش AS_{rank} برای خرپای هفده عضوی ۹۸
شکل ٤-۱۳- نحوه همگرایی با استفاده از روش ACS برای خرپای هفده عضوی ۹۹

شکل ٤-١٤- هندسه و شرایط تکیه‌گاهی خرپای هیجده عضوی ۹۹
شکل ٤-١٥- نحوه همگرایی با استفاده از روش ACS برای خرپای هیجده عضوی.....۱۰۱
شکل ٤-١٦- نحوه همگرایی با استفاده از روش AS_{rank} برای خرپای هیجده عضوی.....۱۰۱
شکل ٤-١٧- هندسه و شرایط تکیه‌گاهی خرپای بیست و دو عضوی ۱۰۲
شکل ٤-١٨- نحوه همگرایی با استفاده از روش ACS برای خرپای بیست و دو عضوی ۱۰٤
شکل ٤-١٩- نحوه همگرایی با استفاده از روش AS_{rank} برای خرپای بیست و دو عضوی ۱۰٤
شکل ٤-٢٠- هندسه و شرایط تکیه‌گاهی خرپای بیست و پنج عضوی ۱۰۵
شکل ٤-٢١- نحوه همگرایی با استفاده از روش ACS برای خرپای بیست و پنج عضوی ۱۰۹
شکل ٤-٢٢- نحوه همگرایی با استفاده از روش AS_{rank} برای خرپای بیست و پنج عضوی ۱۰۹
شکل ٤-٢٣- هندسه و شرایط تکیه‌گاهی خرپای هفتاد و دو عضوی ۱۱۰
شکل ٤-٢٤- نحوه همگرایی با استفاده از روش ACS برای خرپای هفتادودو عضوی(حالت اول) ..۱۱۱
شکل ٤-٢٥- نحوه همگرایی با استفاده از روشAS_{rank}برای خرپای هفتادودو عضوی(حالت اول) ..۱۱۲
شکل ٤-٢٦- نحوه همگرایی با استفاده از روش ACS برای خرپای هفتادودو عضوی(حالت دوم)..۱۱۲
شکل ٤-٢٧- نحوه همگرایی با استفاده از روشAS_{rank}برای خرپای هفتادودو عضوی(حالت دوم)..۱۱۲
شکل ٤-٢٨- هندسه و شرایط تکیه‌گاهی گنبد صد و بیست عضوی ۱۱۵
شکل ٤-٢٩- نحوه همگرایی با استفاده از روش ACS برای خرپای گنبد صد و بیست عضوی ۱۱۷
شکل ٤-٣٠- نحوه همگرایی با استفاده از روش AS_{rank} برای گنبد صد و بیست عضوی ۱۱۸

فهرست جداول

عنوان | صفحه

جدول ۳-۱- الگوریتم‌های بهینه‌سازی اجتماع مورچه‌ها برای مسائل استاتیکی ٤٧

جدول ۳-۲- الگوریتم‌های بهینه‌سازی اجتماع مورچه‌ها برای مسائل دینامیکی ٤٨

جدول ٤-۱- مقایسه نتایج طراحی بهینه خرپای ده عضوی (حالت اول) ٨٧

جدول ٤-۲- مقایسه نتایج طراحی بهینه خرپای ده عضوی (حالت دوم) ٨٨

جدول ٤-۳- مقایسه نتایج طراحی بهینه خرپای هفده عضوی ٩٨

جدول ٤-٤- مقایسه نتایج طراحی بهینه خرپای هجده عضوی ١٠٠

جدول ٤-٥- شرایط بارگذاری سه‌گانه خرپای بیست و دو عضوی ١٠٢

جدول ٤-٦- محدودیتهای تنشی خرپای بیست و دو عضوی ١٠٣

جدول ٤-٧- مقایسه نتایج طراحی بهینه خرپای بیست و دو عضوی ١٠٣

جدول ٤-٨- مختصات گره‌های خرپای بیست و پنج عضوی ١٠٦

جدول ٤-٩- گروه‌بندی اعضاء خرپای بیست و پنج عضوی ١٠٦

جدول ٤-١٠- بارگذاری یگانه خرپای بیست وپنج عضوی ١٠٦

جدول ٤-١١- مقایسه نتایج طراحی بهینه خرپای بیست و پنج عضوی (حالت اول) ١٠٧

جدول ٤-١٢- شرایط بارگذاری دوگانه خرپای بیست و پنج عضوی (حالت دوم) ١٠٧

جدول ٤-١٣- محدودیتهای تنشهای محوری خرپای بیست و پنج عضوی (حالت دوم) ١٠٧

جدول ٤-١٤- مقایسه نتایج طراحی بهینه خرپای بیست و پنج عضوی (حالت دوم) ١٠٨

جدول ٤-١٥- شرایط بارگذاری دوگانه خرپای هفتاد و دو عضوی ١١١

جدول ٤-١٦- مقایسه نتایج طراحی بهینه خرپای هفتاد و دو عضوی (حالت اول) ١١٣

جدول ٤-١٧- مقایسه نتایج طراحی بهینه خرپای هفتاد و دو عضوی (حالت دوم) ١١٤

جدول ٤-١٨- مقایسه نتایج طراحی بهینه گنبد صد و بیست عضوی ١١٧

فصل اول:

سازه‌های فضاکار خرپایی

فصل اول: سازه‌های فضاکار خرپایی

۱-۱- مقدمه:

تاریخ پیدایش سازه‌های فضاکار را می‌توان به بیش از دوهزار سال پیش نسبت داد، اما به شکل امروز آن حداکثر یکصد و چند سال عمر دارد. به سازه‌ای که اصولاً رفتار سه بعدی داشته باشد بطوریکه نتوان به هیچ ترتیبی رفتار کلی آن را با استفاده از یک یا چند مجموعه مستقل دو بعدی تقریب زد، *سازهٔ فضاکار* گویند. با این تعریف طیف وسیعی از سازه‌ها حتی برخی از قوس‌ها و گنبدهای آجری گذشته نیز جزو سازه‌های فضاکار محسوب می‌شوند. اما در این پایان‌نامه منظور، سازه‌های سه بعدی خاص هستند که دارای اعضای مستقیم با اتصالات مفصلی می باشند (*خرپاهای فضاکار*).

امروزه با پیشرفت علوم و تکنولوژی، نیازها و خواسته‌های جدید در عرصه مهندسی سازه رخ داده است؛ عامل زمان در ساخت سازه‌ها اهمیت دو چندان یافته و این امر گرایش به سازه‌های پیش ساخته را افزایش داده است؛ همچنین به دنبال طرح نیازهای گسترده جدید در زندگی بشر به احداث بناهای وسیع بدون پایه‌های میانی نظیر نمایشگاه‌ها، ورزشگاه‌ها، آشیانه‌ها، فضاهای

فرهنگی و مذهبی، کارخانه‌ها، کارگاه‌های بزرگ، بانکها، مراکز تجاری، انبارها، پارکینگهای چند طبقه، اسکله‌ها، فرودگاهها وامثال آن نیاز به فن جدید برای پوشش دهانه‌های بزرگ مطرح گردید. در این راستا از اوایل قرن حاضر تعدادی از متخصصین مجذوب قابلیت‌های منحصر به فرد خرپاهای فضاکار گشته و پاسخ بسیاری از نیازهای جدید را در این نوع از سازه‌ها جسته‌اند و البته به نتایج بسیار مثبتی نیز دست یافته‌اند. با انتشار این نتایج روز به روز این عرصه با اقبال بیشتری رو به رو گردید به گونه‌ای که با گذشت چندین دهه هنوز هم مطالعهٔ این سازه‌ها در کانون تحقیقات متخصصین و دانشجویان قرار دارد.

حل مسائل سازه‌ای سازه‌های پیش گفته با استفاده از ریاضیات امکان‌پذیر شده و از حدود سال ۱۹٤۰ امکان حل معادلات پیچیده توسط رایانه‌ها نتایج قابل توجهی را به وجود آورده است؛ درنتیجه سازه‌های فضاکار و به خصوص سازه‌های فضاکار خرپایی در معرض استفاده عمومی قرار گرفت. اصول پایداری سازه‌ها تغییر ناپذیرند، اما توسعه و پیشرفت در تولید مصالح سازه‌ای، روشهای طراحی و تکنیکهای ساخت و اجرای ساختمانها، کاربرد این اصول را دستخوش تغییر کرد و زمینه توسعه سازه‌های فضاکار خرپایی را در چهار دهه اخیر مهیا کرد، بطوریکه سازه‌های فضاکار خرپایی برای سقفهای نسبتاً بزرگ و انواع پلها با فرمهای پیچیده و همچنین دکلهای انتقال نیرو متداولترین سازه‌ها در سراسر جهان به شمار می‌روند.

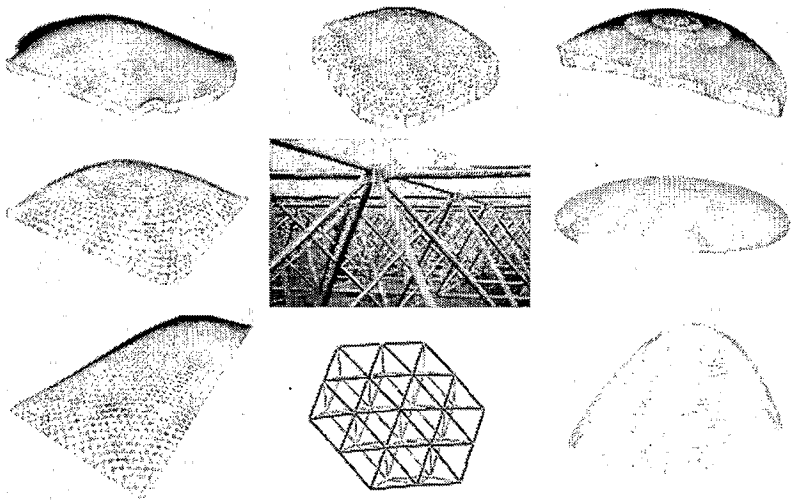
در مجموع با توجه به استفاده فراگیر از رایانه‌ها، ایجاد اتصالات موثر و کارآمد، تحقیقات عمیق درباره رفتار کشسان و ناکشسان خرپاهای فضاکار و دلایل اقتصادی؛ توجه سلائق مختلف به خرپاهای فضاکار جلب شده و امروزه کمتر فضای عمومی در دنیا بدون استفاده از این نوع سازه‌ها (حداقل در بخشی از خود) ساخته می‌شود.

۱-۲- مزایای سازه‌های فضاکار خرپایی:

در معماری کلاسیک چهار اصل کارکرد، استحکام، اقتصاد و زیبایی در طراحی مدنظر قرار می‌گیرد. در اینجا سعی شده این اصول با ویژگی‌های سازه‌های فضاکارخرپایی مقایسه شوند:

الف) کارکرد:

- فرمهای متنوع این سازه‌ها بی‌نظیر است.
- قابلیت فرم‌پذیری بالایی دارند.



شکل ۱-۱- فرمهای متنوع پوشش های خرپایی برای دهانه های بزرگ

- امکان پوشش سقف‌های وسیع بدون پایه‌های میانی وجود دارد.
- امکان خلق فضاهای معمارانه بی‌بدیل با استفاده از این سیستم‌ها کاملاً به اثبات رسیده است.

ب) استحکام:

در کتب سازه‌ای استحکام را به معنی عام آن شامل تعادل، پایداری و مقاومت به کار برده‌اند و در بعضی منابع پایایی و دوام در طول عمر طراحی و پایداری در شرایط جابجایی، نشست،

شکست مصالح و اعضا و همچنین لزوم ایمنی سازه‌ها در شرایط زلزله و آتش‌سوزی و امثال آن و حفظ جان افراد به هنگام فروپاشی را ذکر کرده‌اند. ویژگی‌های خرپاهای فضاکار از نظر استحکام عبارتند از:

- اغلب عناصر سازه‌ای سهم عمده‌ای از ظرفیت باربری خود را به کار می‌گیرند.
- سبکی وزن به دلیل نوع طراحی و دلیل فوق بسیار قابل توجه است. لذا نیاز به بتن سبکتر و فونداسیون کوچکتر دارد و هنگام تخریب خسارت جانی کمتری را به دنبال خواهند داشت.
- این سازه‌ها مقاومت بهتر در مقابل زلزله به دلیل سهیم بودن اجزا متشکله در توزیع بار از خود نشان می‌دهند.
- این نوع سازه‌ها حتی با از دست دادن تعدادی از اعضاء، معمولاً مقاومت و توان باربری خود را از دست نخواهد داد، در نتیجه خسارات ناشی از حوادث کاهش می‌یابد. (شکست نرم)
- با توجه به فرایند تولید و امکان آزمایش در محیط می‌توان از کیفیت ساخت قطعات و اتصالات اطمینان بیشتری حاصل کرد.
- بافت و نصب قطعات سازه و حتی تأسیسات اغلب در روی زمین انجام می‌شود، لذا امکان انجام نظارت و کنترل ساده و دقیق فراهم است.

به طور کلی امکان مراقبت سلامتی سازه[1] در این نوع سازه‌ها بیشتر از سایر سازه‌ها است.

1) Structural health monitoring

ج) اقتصاد:

- ادعا می‌شود این نوع سازه‌ها نسبت به سایر پوشش‌ها به میزان قابل توجه‌ای سبکتر و در نتیجه ارزانترند.
- چون به ستون میانی نیازی ندارند، راندمان استفاده از فضا را افزایش می‌دهند.
- به علت زیبایی نیازی به سقف کاذب ندارند.
- برای نسب تأسیسات احتیاج به اتصالات اضافی ندارند.
- سرعت در تولید، بافت و نصب این سیستم در مجموع امکان بهره‌برداری سریعتر از سرمایه‌گذاری انجام شده را مهیا می‌سازد.
- امکان بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات سازه و تأسیسات به علت وجود دید کافی هم ارزان‌تر و هم راحت‌تر می‌باشد.
- با پیشرفت تکنولوژی، هزینه احداث سیستم‌های سازه‌ای مانند قابهای فضاکار خرپایی در ساختمان‌های با دهانه‌های بزرگ نسبت به پوسته‌های بتنی در حال کاهش است.

د) زیبایی:

از دلایل زیبایی می‌توان به نکات زیر اشاره کرد:

- تنوع فرم.
- امکان رنگ آمیزی متنوع.
- شفاف بودن عناصرسازها برای بیننده.

ه) سایر مزایا:

از دیگر مزایای استفاده از این سازه‌ها حفظ محیط زیست به دلایل زیر است:

- به علت سبک بودن از مواد و مصالح کمتری استفاده می‌کنند و در نتیجه طبیعت کمتر آسیب می‌بینند.
- حمل و نقل کمتری لازم دارند؛ لذا هوا را کمتر آلوده می‌کنند؛ آلودگی صوتی کمتری دارند و آسیب کمتری به راه و آسفالت می‌زنند.
- به علت مدولار بودن قطعات و اتصالات دور ریزی کمتری دارند و از مازاد آنها هم می‌توان استفاده کرد.

به این دلایل این نوع سازه‌ها را جزو *سازه‌های سبز* به شمار می‌آورند.

یکی دیگر از مزیت‌های این سازه‌ها ذخیرهٔ انرژی است زیرا:

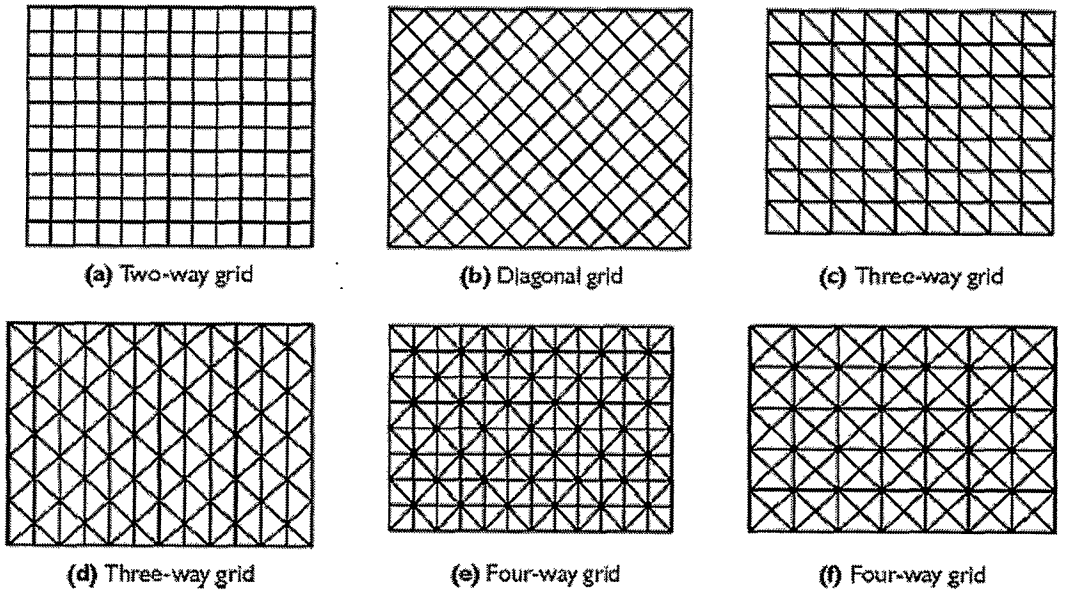
- به دلیل سبکی، انرژی کمتری صرف مواد و مصالح سازه می‌شود.
- به دلیل سبکی و بسته‌بندی مدولار، سوخت کمتری را صرف حمل و نقل می‌کنند.

۱-۳- انواع سازه‌های فضاکار خرپایی:

انواع مختلفی از سازه‌های فضاکار خرپایی که برای پوشش سقف به کار می‌روند شامل شبکه‌های تک لایه، دولایه وگاهی اوقات سه‌لایه و حتی چند لایه هستند؛ که به شکلهای مختلفی ساخته می شوند مانند: *مسطح، نیم بشکه‌ای، چلیکی وگنبدی* [۱].

الف) شبکه مسطح:

به ترکیب یک سیستم یک یا چند وجهی با لایه‌های واحد شبکه گفته می‌شود. شبکه مسطح ترکیبی از یک دو وجهی که با تیرهای واحد متصل شده است؛ می‌باشد. در این نوع شبکه‌ها بیشتر از شبکه‌های دولایه استفاده می‌شود. شبکه‌های دولایه از دو صفحهٔ موازی که به وسیله عناصری به هم متصل گردیده‌اند، تشکیل می‌شوند. با توجه به اینکه نیمی از هزینه‌های سازه‌های خرپایی را پیوندها تشکیل می‌دهند سازه‌های مسطح بیش از دولایه اغلب غیراقتصادی هستند.



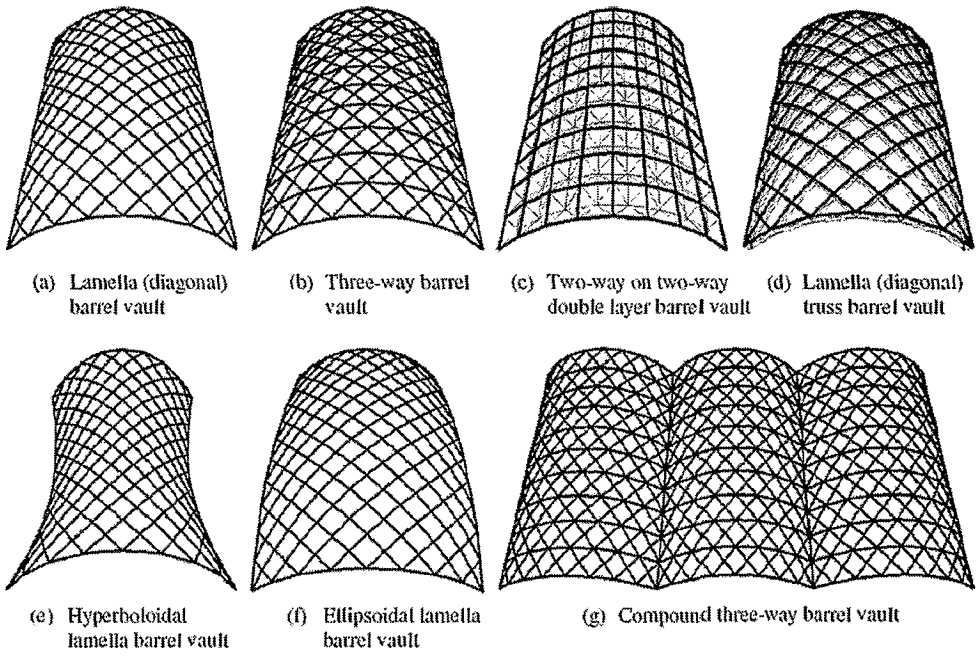
شکل ۱-۲- چند نمونه شبکه دو لایه مسطح

ب) چلیک:

به شبکه‌ای که در یک جهت دارای انحناء باشد *چلیک* گویند. این سازه بیشتر برای پوشش سطوح مستطیلی دالان مانند استفاده شده و بعضاً فاقد ستون می‌باشند و روی لبه‌های چلیک که به تکیه‌گاه متصل است، قرار می‌گیرد. چلیک‌ها دارای محور می‌باشند. اگر چلیک یک لایه باشد اتصالات صلب است. چلیک‌ها اغلب به شکل ترکیبی استفاده می‌شوند و تیر کمری نقش ترکیب

کردن چلیک‌ها به یکدیگر را بازی می‌کند. نکته‌ای که در طراحی این نوع سازه‌ها باید در نظر گرفت این است که انتهای چلیک باید قوی باشد و این تقویت را می‌شود به وسیله تیر یا تیرستون انجام داد.

انواع چلیک‌ها در شکل(۱-۳) نشان داده شده است که عبارتند از: چلیک اریبی، چلیک لملا[1] با مقاطع بیضی‌گون، سهمی‌گون، هذلولی‌گون و....



شکل ۱-۳- چند نمونه چلیک

ج) گنبد:

اگر شبکه‌ای در دو جهت دارای انحناء باشد، *گنبد* نامیده می‌شود. شاید رویه گنبد بخشی از یک کره یا یک مخروط یا اتصال چندین رویه باشد. گنبدها سازه‌هایی با صلبیت بالا می‌باشند و

1) Lamella