

جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

آیین نامه سازه های فضاکار

نشریه شماره ۴۰۰

معاونت نظارت راهبردی

دفتر نظام فنی اجرایی

NezamFanni.IR

۱۳۸۹



بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

| | | |
|---|------------|--|
| شماره: | ۱۰۷۴۳۱۷۰ | بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران |
| تاریخ: | ۱۳۹۱/۱۱/۱۱ | |
| موضوع: | | آیین‌نامه سازه‌های فضاکار |
| <p>به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۴۰۰ دفتر نظام فنی اجرایی، با عنوان «آیین‌نامه سازه‌های فضاکار» از نوع گروه اول، ابلاغ می‌شود؛ تا از تاریخ ۱۳۸۸/۷/۱ به اجرا درآید.</p> <p>رعایت کامل مفاد این نشریه از طرف دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر در طرح‌های عمرانی الزامی است، ولی در یک دوره گذار تا ۱۳۹۰/۱۲/۲۹ استفاده از دیگر آیین‌نامه‌های معتبر نیز مجاز خواهد بود.</p> | | |
| <p>امیر منصور برقی معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور</p> | | |
| (ویرایش شد مورخ ۱۳۸۸/۳/۵) | | |

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه کرده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده‌ی هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- شماره‌ی بند و صفحه‌ی موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
- ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
- ۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
- ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقلام لازم را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر شما همکار ارجمند قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی، صندوق پستی ۱۱۴۹۹۴۳۱۴۱

Email: tsb.dta@mporg.ir

web: <http://tec.mporg.ir/>

پیش‌زمینه و سپاسگزاری

معاون نظارت راهبردی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور بر خود فرض می‌داند که مراتب سپاسگزاری و امتنان خود را به شرح زیر از زحمات تمامی آنانی که در پیشبرد این طرح حایز اهمیت ملی و جهانی تا این مرحله مساعدت، مشارکت و پشتیبانی نموده‌اند، تقدیم دارد.

○ طرح حاضر با پشتیبانی‌های مدیران و مسئولان سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور وقت به انجام رسید. نظر مساعد جناب آقای **مهندس مهدی تفضلی**، معاون محترم وقت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و پشتیبانی‌های ایشان در تدوین نشریه راهگشا بوده است. جناب آقای **مهندس سید اکبر هاشمی** مدیرکل محترم وقت دفتر امور فنی، زمان قابل ملاحظه‌ای صرف عملی ساختن این پشتیبانی‌ها فرموده‌اند. سرکار خانم **مهندس بهناز پورسید** مدیرکل محترم دفتر نظام فنی اجرایی، از ابتدای مطرح شدن ایده‌های اولیه تا زمان نهایی شدن کار همواره پشتیبان طرح بوده و با همفکری مستمر در جهت امکان‌پذیری کار نقش مؤثری ایفا نموده‌اند. در همین ارتباط همکاری‌های جناب آقایان **مهندس علی تبار** و **مهندس سید محمود ظفری** در سطوح کارشناسی و راهبری را یادآور می‌شود. درایت و توانمندی جناب آقای **مهندس حمیدرضا خاشعی** کارشناس محترم دفتر نظام فنی اجرایی در کسوت مدیریت پروژه، در به ثمر رسیدن تمامی تلاش‌های به عمل آمده نقش تعیین‌کننده و بارزی داشته است. در عین حال لازم می‌داند که از دیدگاه مساعد جناب آقای **مهندس احمد شفاعت** و زمینه‌سازی‌های به عمل آمده از طرف ایشان در ارتباط با تحقق طرح تدوین آیین‌نامه حاضر نیز یاد شود.

○ تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار، برای نخستین بار در سطح جهانی و توسط متخصصان ایرانی، آرزوی دیرینه **استاد هشیار نوشین** بوده است. وجود متخصصین ایرانی تراز اول در سطح بین‌المللی، در زمینه سازه‌های فضاکار نتیجه تلاش مستقیم یا غیرمستقیم ایشان بوده است. اولین بارقه‌ها برای تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار در سال ۱۳۷۳ نشأت گرفت و با تشویق و پشتیبانی‌های امیدبخش ایشان و کوشش‌های مجری طرح و اعضای محترم کمیته تدوین آیین‌نامه تا مرحله حاضر پیشرفت نموده است. ایشان در اوقاتی که همه ساله طی چند سال اخیر در کشور حضور یافته‌اند، در کمیته تدوین آیین‌نامه حضور فعال و مؤثری داشته و با تقبل ریاست کمیته تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار علاوه بر مشارکت در تدوین، از نظر کیفی و کمی نیز بر کار نظارت مستمر داشته‌اند.

○ جناب آقای **دکتر شاهرخ مالک**، مجری مسؤل پروژه و دبیر محترم کمیته تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار، از اوان تبلور ایده‌های طرح در سال ۱۳۷۳ و در سیر تکوین مطالعات تا نیل به نتیجه پیش رو، عملاً با اهتمام تمام، ایثارگرانه و خستگی‌ناپذیر، هم خود را وقف تحقق اهداف طرح نموده و با توانایی‌های بی‌بدیل توانستند این پروژه را برای نخستین بار در سطح جهانی و با همکاری متخصصان ایرانی در قالب قراردادی با معاونت پژوهشی پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران به سرانجام مطلوب رسانند. در اینجا لازم است از زحمات چندین ساله ایشان تقدیر به عمل آید.

○ متخصصان عالی‌قدری که دعوت دبیر کمیته تدوین را برای عضویت در کمیته تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار صمیمانه پذیرفتند، به‌طور مؤثری در این طرح همکاری مبذول فرموده‌اند. اعتقاد راسخ ایشان به اهمیت اهدافی که در طرح تبیین گردیده بود،

منجر به نیل به اهداف طرح و توفیق در تدوین این آیین‌نامه گردیده است. اسامی این عزیزان در صفحات ویژه معرفی کمیته محترم تدوین آورده شده و مجموعه کوشش‌ها، همکاری‌ها و همفکری‌های ایشان شایسته قدردانی ویژه است.

○ پیش‌نویس متون آیین‌نامه حاضر، در چارچوب مرحله دوم طرح توسط اعضای محترم به شرح صفحات بعد به تفکیک به رشته تحریر درآمده است. اعضای محترم مشارکت‌کننده در تدوین متن پیش‌نویس علاوه بر حضور فعال در جلسات متعدد و خارج از شمار تمام روزه کمیته تدوین و جلسات متمرکز چند روزه کارگروه‌های تخصصی، در تحریر متون آیین‌نامه مشارکت داشته‌اند. طی مرحله اول مطالعات طرح، پس از شناسایی نیاز مبرم به تدوین آیین‌نامه و احراز ضرورت انجام مطالعات در چارچوب مطالعات توجیهی و امکان‌سنجی لازم، فلسفه حاکم بر آیین‌نامه تبیین، الگوهای مطالعاتی تدوین، حوزه و دامنه شمول کار تعیین و سرفصل‌های آیین‌نامه طراحی گردیدند و گزارش مرحله اول طرح، براساس دیدگاه‌ها و نتایج حاصله و مطروحه در جلسات مرحله اول کمیته تدوین، توسط مجری طرح و دبیر کمیته تدوین، دکتر شاهرخ مالک به رشته تحریر درآمد. مطالعات مرحله دوم شامل تدوین متن حاضر می‌باشد که طی آن، با توجه به ضرورت برقراری هماهنگی و حفظ همگونی در متون نهایی، مجری طرح و دبیر کمیته تدوین آیین‌نامه علاوه بر بازنگری فنی و ویرایش ادبی تمامی متون پیش‌نویس، گاه بازنویسی برخی از این متون را - شامل متون پیش‌نویسی نیز که شخصاً توسط مجری طرح تدوین گردیده بود - ضروری دانسته و در تدوین متن نهایی کوشش به‌عمل آورده است تا همگونی و همسازی ممکن و ارتباطات حتی‌المقدور منطقی بین فصول، بندها و پیوست‌ها برقرار باشد.

○ سایر اعضای محترم کمیته تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار در جلسات شرکت فعال داشته و حتی در صورتی که در تنظیم و تحریر نوشتارهای پیش‌نویس آیین‌نامه فرصت مشارکت نداشته‌اند، با ارایه رهنمودهای با ارزش در هدایت، ارتقای کیفیت و روش‌شناسی مطالعات تأثیر به‌سزایی بر جای گذاشته‌اند.

○ معاون نظارت راهبردی از همکاری صمیمانه تمامی این عزیزان قدردانی می‌نماید.

محمد مهدی رحمتی

معاون نظارت راهبردی

بهار ۱۳۸۹

مسئولین تدوین متون پیش‌نویس و سایر فعالیت‌های ذیربط در تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • پیوست ۱- الف: نمونه‌هایی از سازه‌های فضاکار شبکه‌ای • پیوست ۱- ب: برنامه‌های فرمینی برای تاشه‌های پیوست ۱- الف • بند ۴-۱-۲- سازه‌های فضاکار شبکه‌ای • ویرایش پیش‌نویس‌های آیین‌نامه • مشارکت در تنظیم واژه‌نامه • نظارت عالی بر حسن انجام کار | <p>استاد هشیار نوشین (ریاست کمیته تدوین)</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • تدوین پیش‌نویس‌های متون به شرح زیر: <ul style="list-style-type: none"> • فصل اول: کلیات • فصل دوم: مبانی طراحی • فصل سوم: کنش‌ها و بارهای مؤثر • فصل چهارم: طراحی مجموعه سازه فضاکار • فصل هفتم: طراحی به کمک آزمایش • موارد تکمیلی فصول پنجم و ششم • پیوست ۶- الف: مبانی طراحی • پیوست ۶- ب: ملزومات طراحی مبتنی بر حالات حدی • پیوست ۷: شیوه‌های اجرای سازه‌های فضاکار • پیوست ۸: اصول مستند سازی • واژه‌نامه و نمادها • تنظیم و تجدید نظر فنی و ویرایش ادبی تمامی پیش‌نویس‌ها و اضافات و الحاقیات و موارد تکمیلی متون اصلی آیین‌نامه و تفسیرها • اصلاحات و بازنگری فنی و ویرایش ادبی تمامی پیوست‌ها، به‌ویژه پیوست ۲ • سرپرستی امور ترسیم شکل‌ها و تنظیم جدول‌ها، فارسی‌نویسی شکل‌ها، تایپ، صفحه‌بندی و کنترل فصول متن اصلی و پیوست‌های ۲ تا ۸ و ویرایش و تهیه متون تکمیلی به‌ویژه در ارتباط با بندهای ۳-۲-۱۱ و پیوست ۲ و بندهای ۴-۸ و ۴-۹ تا ۴-۹-۵ • مسئول تنظیم، تدوین، بازخوانی، ویرایش کامل و کنترل متن نهایی آیین‌نامه، تفسیر آیین‌نامه، پیوست‌ها، فهرست مندرجات، فهرست مراجع، واژه‌نامه، نمادها و برقراری هماهنگی و همگونی متون و ارتباطات مربوط | <p>دکتر شاهرخ مالک (مجری مسؤول طرح و دبیر کمیته تدوین)</p> |

مسئولین تدوین متون پیش‌نویس و سایر فعالیت‌های ذیربط در تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • متون خلاصه فارسی و انگلیسی • تهیه‌کننده متن نهایی گزارش مصوب مرحله اول طرح • تهیه‌کننده متن نهایی گزارش مصوب مرحله دوم طرح • تدوین مجموعه نوشتار تحت عنوان برنامه تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار • مدیریت طرح و مسؤول برنامه‌ریزی و هماهنگی امور اجرایی، پشتیبانی، تدارکاتی، روابط عمومی، زمان‌بندی و هماهنگی • مسؤول مدیریت کیفیت طرح • تهیه‌کننده متن نهایی مصوب آیین‌نامه | <p>دکتر شاهرخ مالک (مجری مسؤول طرح و دبیر کمیته تدوین)</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • مشارکت فعال در کلیه فصول و همفکری در تبیین فلسفه و برنامه مطالعات فصول اصلی و تدوین پیش‌نویس بندهای ۴-۱، ۴-۴، ۴-۸، ۴-۹، ۶-۴، ۶-۵ و ... • قرائت متن آیین‌نامه و ارائه توصیه‌های بسیار مفید و رهنمودهای ارزشمند و همکاری همه‌جانبه در پیشبرد اهداف طرح در تمامی جنبه‌ها و به طور مستمر از ابتدا تا مراحل تکمیلی | <p>دکتر نصرالله دیانت (عضو)</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • تدوین پیش‌نویس‌های: <ul style="list-style-type: none"> • بندهای ۳-۱-۴-۵ تا ۸ • فصل پنجم: تحلیل • بند ۶-۳: طراحی اتصالات و پیوندها • پیوست‌های ۲ تا ۵ • مشارکت در سایر فصول به ویژه در فصل‌های چهارم و ششم • قرائت متون آیین‌نامه و ارائه توصیه‌های سودمند • مشارکت در تنظیم فصول و پیوست‌ها و چارچوب و فلسفه و برنامه مطالعات و مشارکت در تنظیم واژه‌نامه و همکاری فعال همه‌جانبه و مستمر و ارائه رهنمودهای ارزشمند | <p>دکتر کریم عابدی (عضو) و دکتر محمدرضا چناقلو (عضو)</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • تدوین پیش‌نویس‌های بندهای ۶-۱ و ۶-۲ (کلیات و طراحی اعضا) و بند ۳-۱-۴-۵-۹ • مشارکت فعال در کلیه مراحل تدوین آیین‌نامه و تبیین فلسفه مطالعات • قرائت متون و ارائه توصیه‌های سودمند و رهنمودهای ارزشمند و همکاری فعال همه‌جانبه و مستمر | <p>دکتر محمود هریس‌چیان (عضو)</p> |

مسئولین تدوین متون پیش‌نویس و سایر فعالیت‌های ذریبط در تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار

| | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • تهیه پیش‌نویس بند ۳-۲-۱۱- بار باد • مشارکت فعال در جلسات متعدد کمیته تدوین و ارایه رهنمودهای ارزشمند | <p>دکتر محمود یحیایی (عضو)</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • برقراری هماهنگی با آرایه نشریات دفتر امور فنی و قرائت متون و ارایه توصیه‌های سودمند و همکاری در امور اجرایی طرح | <p>مهندس سید محمود ظفری (عضو)</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • قرائت دقیق متون و ارایه توصیه‌های سودمند از دیدگاه ویرایش ادبی و فنی • مشارکت در جلسات و ارایه رهنمودهای ارزشمند در تدوین متون و شیوه‌های ارایه آیین‌نامه | <p>مهندس سیداکبر هاشمی (عضو)</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • مشارکت‌کننده در ویرایش برخی از فصول | <p>شادروان دکتر علیرضا دهدشتی (عضو)</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • قرائت، بررسی و ویرایش دقیق علمی - فنی - ادبی متون • ارایه توصیه‌های سودمند و رهنمودهای ارزشمند • همکاری همه‌جانبه و مؤثر در تکمیل گزارش نهایی طرح شامل فصل‌بندی نهایی، آرایه نهایی، تهیه نمایه‌ها • مشارکت و فعالیت سازنده در امور اجرایی پروژه | <p>مهندس حمیدرضا خاشعی (عضو)</p> |

دیگر اعضای محترم کمیته تدوین که با شرکت در جلسات متعدد عمومی و تخصصی کمیته تدوین و ارایه رهنمودهای ارزشمند به‌طور مستمر و مؤثر به پیشبرد اهداف طرح یاری رسانده‌اند، عبارت‌اند از:

مهندس سهیل ایرملو، دکتر عیسی سالاجقه، دکتر محمد مهدی علی‌نیا، مهندس محمد کریمی و دکتر محمود گلابچی.

در ضمن آقایان مهندس امید علی سماواتی در پیوست الف و دکتر بهمن طهوری در قرائت و ویرایش بند ۳-۲-۱۱ همکاری داشته‌اند.

همچنین علاوه بر اعضای کمیته تدوین، آقایان دکتر امیر مسعود حر، دکتر مجید صادق آذر، دکتر حسن علیجانی مقدم و دکتر سید رسول میرقادری نیز در مرحله مقدماتی و تدوین برنامه عملیاتی آیین‌نامه همکاری و همفکری نموده‌اند.

فهرست مندرجات

فهرست مندرجات

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۷ | پیش زمینه و سپاسگزاری |
| ۲۹ | برنامه تدوین آیین نامه سازه های فضاکار |
| ۴۹ | نمادها |
| ۱-۱ | بخش اول: کلیات |
| ۳-۱ | فصل اول : کلیات |
| ۵-۱ | ۱-۱- مقدمه |
| ۵-۱ | ۱-۱-۱- اهداف |
| ۵-۱ | ۲-۱-۱- تعاریف |
| ۵-۱ | ۱-۲-۱-۱- دسته بندی سازه های فضاکار |
| ۷-۱ | ۳-۱-۱- دامنه کاربرد |
| ۸-۱ | ۴-۱-۱- سیستم واحدها |
| ۸-۱ | ۵-۱-۱- نمادها |
| ۸-۱ | ۲-۱- مفاهیم بنیادین و مبانی طراحی |
| ۸-۱ | ۱-۲-۱- مبانی نظری و فلسفه طراحی |
| ۸-۱ | ۲-۲-۱- شرایط طراحی و کنش ها |
| ۸-۱ | ۳-۲-۱- مصالح |
| ۹-۱ | ۴-۲-۱- پایایی |
| ۹-۱ | ۵-۲-۱- فرم شناسی سازه ای |
| ۹-۱ | ۶-۲-۱- تحلیل |
| ۹-۱ | ۷-۲-۱- طراحی |
| ۱۰-۱ | ۳-۱- مدیریت کیفیت |
| ۱۰-۱ | ۴-۱- اصول اجرا |
| ۱۰-۱ | ۵-۱- اصول بهره برداری و نگهداری |
| ۱۰-۱ | ۶-۱- اصول مستندسازی |
| ۱۱-۱ | ۷-۱- سایر استانداردها و مدارک مرتبط با آیین نامه |
| ۱-۲ | بخش دوم: طراحی |
| ۳-۲ | فصل دوم: مبانی طراحی |
| ۵-۲ | ۲- مبانی طراحی |

| | |
|------|--|
| ۵-۲ | ۱-۲- مقدمه |
| ۵-۲ | ۲-۲- الزامات بنیادین طراحی |
| ۵-۲ | ۱-۲-۲- اصول بنیادین |
| ۶-۲ | ۲-۲-۲- قابلیت اعتماد و سطوح اطمینان |
| ۸-۲ | ۳-۲-۲- عمر مفید طراحی |
| ۸-۲ | ۴-۲-۲- پایایی |
| ۹-۲ | ۵-۲-۲- مدیریت کیفیت |
| ۱۰-۲ | ۶-۲-۲- شرایط طراحی |
| ۱۰-۲ | ۳-۲- حالات حدی |
| ۱۰-۲ | ۱-۳-۲- کلیات |
| ۱۱-۲ | ۲-۳-۲- حالات حدی نهایی |
| ۱۲-۲ | ۳-۳-۲- حالات حدی خدمت‌رسانی |
| ۱۲-۲ | ۴-۳-۲- طراحی مبتنی بر حالات حدی |
| ۱۳-۲ | ۴-۲- کنش‌ها و آثار محیطی |
| ۱۳-۲ | ۱-۴-۲- دسته‌بندی |
| ۱۵-۲ | ۲-۴-۲- آثار ناشی از خستگی |
| ۱۵-۲ | ۳-۴-۲- کنش‌های دینامیکی |
| ۱۵-۲ | ۴-۴-۲- کنش‌های وابسته به ویژگی‌های ژئوتکنیکی |
| ۱۶-۲ | ۵-۴-۲- آثار محیطی |
| ۱۶-۲ | ۶-۴-۲- آتش‌سوزی |
| ۱۵-۲ | ۷-۴-۲- مقادیر مشخصه کنش‌ها |
| ۱۷-۲ | ۵-۲- مقاومت لازم و ضرایب بار |
| ۱۸-۲ | ۶-۲- خواص مصالح |
| ۱۹-۲ | ۷-۲- داده‌های هندسی |
| ۱۹-۲ | ۸-۲- تحلیل |
| ۱۹-۲ | ۱-۸-۲- اصول مدل‌سازی |
| ۲۰-۲ | ۲-۸-۲- تحلیل استاتیکی |
| ۲۱-۲ | ۳-۸-۲- تحلیل دینامیکی |
| ۲۲-۲ | ۴-۸-۲- تحلیل پایداری |
| ۲۳-۲ | ۵-۸-۲- تحلیل آثار ناشی از آتش‌سوزی |
| ۲۳-۲ | ۹-۲- مقاومت در مقابل گسیختگی پیش‌رونده |

| | | |
|--------------------------------------|--|------|
| ۱۰-۲ | مبانی شاییدی (احتمال‌اندیشانه) طراحی | ۲۴-۲ |
| ۱۰-۲ | مفاهیم پایه | ۲۴-۲ |
| فصل سوم: کنش‌ها و بارهای مؤثر | | |
| ۱-۳ | کلیات | ۳-۳ |
| ۱-۳ | مقدمه | ۳-۳ |
| ۱-۳ | بارهای دارای منشأ بیرونی | ۳-۳ |
| ۱-۳ | مدل‌های کنش‌های بیرونی | ۴-۳ |
| ۱-۳ | کنش‌ها و شرایط مؤثر | ۴-۳ |
| ۱-۳ | بارگذاری و تحلیل | ۴-۳ |
| ۱-۳ | مفاهیم ضرایب ایمنی | ۵-۳ |
| ۱-۳ | مدل‌ها و کمیت‌های نمایشگر آثار اندرکنش بار و سازه | ۵-۳ |
| ۱-۳ | دسته‌بندی کنش‌ها | ۵-۳ |
| ۲-۳ | بارهای وارده بر سازه فضاکار | ۸-۳ |
| ۲-۳ | بارهای ثقلی | ۸-۳ |
| ۱-۳ | بارهای مرده | ۸-۳ |
| ۲-۳ | بارهای زنده | ۱۱-۳ |
| ۲-۳ | بار برف | ۱۷-۳ |
| ۲-۳ | بارهای ناشی از ضربه و بارهای ناشی از ماشین‌آلات دوار | ۱۷-۳ |
| ۲-۳ | کلیات | ۱۷-۳ |
| ۲-۳ | پاسخ سازه | ۱۷-۳ |
| ۲-۳ | تعریف و توصیف بارهای ناشی از ضربه و بارهای ناشی از ماشین‌آلات دوار | ۱۸-۳ |
| ۲-۳ | آثار ناشی از ارتعاش | ۱۸-۳ |
| ۲-۳ | بارهای اجرایی | ۱۹-۳ |
| ۲-۳ | بارهای ناشی از کنش‌های مرتبط با شرایط جوی | ۲۰-۳ |
| ۲-۳ | کلیات | ۲۰-۳ |
| ۲-۳ | آثار ناشی از تغییرات دما | ۲۰-۳ |
| ۲-۳ | بارهای ناشی از برف | ۲۴-۳ |
| ۲-۳ | کلیات | ۲۴-۳ |
| ۲-۳ | بار برف وارد بر زمین | ۲۵-۳ |
| ۲-۳ | بار برف وارد بر بام و پوشانه سازه‌های فضاکار | ۲۵-۳ |
| ۲-۳ | بارهای برف، یخ و انباشت آب باران و یخ | ۲۶-۳ |

| | | |
|------|---|----------|
| ۲۶-۳ | ملاحظات کلی در تعیین بارهای برف | ۵۶-۲-۳ |
| ۲۷-۳ | بارهای تابع تغییرشکل | ۷۲-۲-۳ |
| ۲۸-۳ | آثار ناشی از اختلاف نشست | ۸۲-۲-۳ |
| ۲۹-۳ | آثار ناشی از نامیزانی | ۹۲-۲-۳ |
| ۳۰-۳ | آثار ناشی از پیش‌تنیدگی | ۱۰۲-۲-۳ |
| ۳۰-۳ | بار باد | ۱۱۲-۲-۳ |
| ۳۰-۳ | کلیات | ۱۱۱-۲-۳ |
| ۳۱-۳ | تعاریف | ۱۱۱-۲-۳ |
| ۳۲-۳ | روش‌های محاسبه بارهای باد | ۱۱۱-۲-۳ |
| ۳۳-۳ | مقادیر بارهای ناشی از باد | ۱۱۱-۲-۳ |
| ۳۷-۳ | بارگذاری باد بر سازه‌ها | ۱۱۱-۲-۳ |
| ۵۹-۳ | بارهای ناشی از زلزله | ۱۲۲-۲-۳ |
| ۵۹-۳ | مقدمه | ۱۱۲-۲-۳ |
| ۵۹-۳ | سطوح خطر زمین لرزه در طراحی مبتنی بر عملکرد | ۱۱۲-۲-۳ |
| ۶۱-۳ | مشخصات زمین لرزه‌های طراحی | ۱۱۲-۲-۳ |
| ۶۴-۳ | تحلیل آثار ناشی از زلزله | ۱۱۲-۲-۳ |
| ۶۸-۳ | ترکیب بارها | ۱۱۲-۲-۳ |
| ۱-۴ | فصل چهارم : طراحی مجموعه سازه فضاکار | |
| ۳-۴ | کلیات | ۱-۴ |
| ۳-۴ | تعریف | ۱-۴ |
| ۳-۴ | سازه‌های فضاکار شبکه‌ای | ۲-۱-۴ |
| ۴-۴ | شبکه‌های تک‌لایه (تخت) | ۱-۲-۱-۴ |
| ۴-۴ | شبکه‌های دولایه و چندلایه (تخت) | ۲-۲-۱-۴ |
| ۴-۴ | چلیک‌های شبکه‌ای | ۳-۲-۱-۴ |
| ۴-۴ | گنبد‌های شبکه‌ای | ۴-۲-۱-۴ |
| ۵-۴ | سهلوی‌های شبکه‌ای | ۵-۲-۱-۴ |
| ۵-۴ | هرم‌های شبکه‌ای | ۶-۲-۱-۴ |
| ۵-۴ | برج‌های شبکه‌ای | ۷-۲-۱-۴ |
| ۵-۴ | سازه‌های فضاکار تاشو | ۸-۲-۱-۴ |
| ۵-۴ | سازه‌های فضاکار شبکه‌ای مرکب | ۹-۲-۱-۴ |
| ۶-۴ | سازه‌های فضاکار شبکه‌ای با شکل آزاد | ۱۰-۲-۱-۴ |

| | |
|------|--|
| ۶-۴ | طراحی مجموعه سازه فضاکار |
| ۶-۴ | ۱-۲-۴ مبانی طراحی مجموعه سازه فضاکار |
| ۷-۴ | ۲-۲-۴ مفاهیم طراحی مجموعه سازه فضاکار |
| ۸-۴ | ۱-۲-۲-۴ شبکه بندی ساختاری |
| ۸-۴ | ۲-۲-۲-۴ شبکه های تک لایه |
| ۸-۴ | ۳-۲-۲-۴ شبکه های دو یا چند لایه |
| ۹-۴ | ۴-۲-۲-۴ چلیک ها و گنبدها |
| ۹-۴ | ۳-۲-۴ قیاس به صفحه یا پوسته معادل |
| ۹-۴ | ۴-۲-۴ سازه فضاکار در مقایسه با سایر سیستم های سازه ای |
| ۱۰-۴ | ۵-۲-۴ تحلیل میزان حساسیت به تغییرات پارامترهای مؤثر در طرح |
| ۱۰-۴ | ۶-۲-۴ روش های طراحی فرم هندسی مجموعه سازه فضاکار |
| ۱۰-۴ | ۱-۶-۲-۴ طراحی سازه فضاکار شبکه ای از کل به جزء |
| ۱۰-۴ | ۲-۶-۲-۴ طراحی سازه فضاکار شبکه ای از جزء به کل |
| ۱۱-۴ | ۷-۲-۴ عوامل مؤثر بر سختی و مقاومت |
| ۱۱-۴ | ۸-۲-۴ خرابی های فضاکار |
| ۱۱-۴ | ۹-۲-۴ نوع هم بندی |
| ۱۱-۴ | ۱۰-۲-۴ مقاطع و کارایی اعضا |
| ۱۱-۴ | ۱۱-۲-۴ پیوندها و اتصالات |
| ۱۲-۴ | ۱۲-۲-۴ رواداری های ساخت، بافت و نصب |
| ۱۲-۴ | ۱۳-۲-۴ ابزار طراحی |
| ۱۲-۴ | ۱۴-۲-۴ رفتار سازه ای و عملکرد معماری سازه فضاکار |
| ۱۲-۴ | ۱۵-۲-۴ فرمیابی |
| ۱۳-۴ | ۱-۱۵-۲-۴ دسته بندی رویه های سازه های فضاکار |
| ۱۳-۴ | ۱۶-۲-۴ بهینه یابی |
| ۱۴-۴ | ۱۷-۲-۴ پیش خیز |
| ۱۵-۴ | ۳-۴ شیوه های ساخت، بافت و نصب |
| ۱۶-۴ | ۱-۳-۴ سیستم های پیونده ای |
| ۱۶-۴ | ۲-۳-۴ سیستم های واحدی |
| ۱۶-۴ | ۳-۳-۴ سیستم های ویژه |
| ۱۶-۴ | ۴-۳-۴ شیوه های بافت و جابه جایی |
| ۱۸-۴ | ۵-۳-۴ نصب |

| | |
|------|---|
| ۱۸-۴ | طراحی مبتنی بر حالات حدی..... |
| ۱۸-۴ | ۱-۴-۴- مقدمه..... |
| ۱۹-۴ | ۲-۴-۴- حالات حدی نهایی..... |
| ۱۹-۴ | ۱-۲-۴-۴- شرایط صحت‌سنجی..... |
| ۲۰-۴ | ۲-۲-۴-۴- ترکیب کنش‌ها، آرایش بارها و حالت بارگذاری..... |
| ۲۲-۴ | ۳-۴-۴- حالت حدی خدمت‌رسانی..... |
| ۲۳-۴ | ۱-۳-۴-۴- معیارهای حالت خدمت‌رسانی..... |
| ۲۵-۴ | ۵-۴- مصالح..... |
| ۲۵-۴ | ۱-۵-۴- فولاد سازه‌ای..... |
| ۲۵-۴ | ۱-۱-۵-۴- خصوصیات مکانیکی مصالح..... |
| ۲۵-۴ | ۲-۵-۴- پیوندهای کوبن‌کاری‌شده..... |
| ۲۶-۴ | ۳-۵-۴- پیوندهای ریخته‌گری‌شده..... |
| ۲۶-۴ | ۴-۵-۴- مصالح پیچ‌ها..... |
| ۲۶-۴ | ۱-۴-۵-۴- مصالح و مشخصات مکانیکی و متالورژیکی پیچ‌ها..... |
| ۲۶-۴ | ۲-۴-۵-۴- برنامه کنترل کیفیت پیچ‌ها..... |
| ۲۷-۴ | ۳-۴-۵-۴- ملاحظات طراحی، ساخت و نصب پیچ‌ها..... |
| ۲۷-۴ | ۴-۴-۵-۴- پیچ با رویه گالوانیزه..... |
| ۲۷-۴ | ۵-۵-۴- اتصالات جوشی..... |
| ۲۸-۴ | ۶-۴- اعضای سازه..... |
| ۲۸-۴ | ۱-۶-۴- دسته‌بندی اعضا..... |
| ۲۸-۴ | ۱-۱-۶-۴- دسته‌بندی بر اساس شکل مقطع..... |
| ۲۹-۴ | ۲-۱-۶-۴- دسته‌بندی بر اساس نوع مقطع از نظر کمانش موضعی..... |
| ۲۹-۴ | ۳-۱-۶-۴- دسته‌بندی بر اساس شرایط سر حدی و قیود جانبی پیچشی..... |
| ۲۹-۴ | ۴-۱-۶-۴- دسته‌بندی بر اساس نوع نیروها و آثار ناشی از تلاش‌ها..... |
| ۳۰-۴ | ۲-۶-۴- کلیات و موارد عمومی طراحی اعضا..... |
| ۳۰-۴ | ۷-۴- پیوندها و اتصالات..... |
| ۳۰-۴ | ۱-۷-۴- کلیات..... |
| ۳۱-۴ | ۲-۷-۴- سیستم‌های پیونده، مصالح و شیوه ساخت..... |
| ۳۱-۴ | ۳-۷-۴- رواداری‌های ابعادی..... |
| ۳۱-۴ | ۴-۷-۴- ملاحظاتی در مورد طراحی مجموعه سازه فضاکار با در نظر گرفتن اتصالات و پیوندها..... |
| ۳۱-۴ | ۵-۷-۴- جزییات اجرایی..... |

| | |
|------|---|
| ۳۱-۴ | دستگاه‌های تکیه‌گاهی |
| ۳۷-۴ | اجزا و پوشانه‌های غیرسازه‌ای |
| ۳۷-۴ | کلیات |
| ۳۷-۴ | انواع متداول پوشانه‌های سازه‌های فضاکار |
| ۳۹-۴ | مقاومت پوشانه‌ها در مقابل آتش‌سوزی |
| ۳۹-۴ | مقاومت پوشانه و اجزا و اعضای نگهدارنده پوشانه در برابر باد |
| ۳۹-۴ | پایایی پوشانه‌ها |
| ۳۹-۴ | ملاحظات کلی در طراحی لرزه‌ای سازه‌های فضاکار |
| ۳۹-۴ | کلیات ۱-۱۰-۴ |
| ۴۰-۴ | مبانی طراحی لرزه‌ای |
| ۴۰-۴ | عملکرد لرزه‌ای |
| ۴۱-۴ | حالات حدی در طراحی لرزه‌ای مبتنی بر عملکرد |
| ۴۲-۴ | روش ارزیابی عملکرد لرزه‌ای |
| ۴۳-۴ | جنبه‌های رفتاری سازه از دیدگاه میزان شکل‌پذیری و قابلیت استهلاک انرژی |
| ۴۳-۴ | سازه با رفتار شکل‌پذیر |
| ۴۳-۴ | سازه با شکل‌پذیری محدود |
| ۴۳-۴ | طراحی مفهومی |
| ۴۳-۴ | سازه مجهز به سیستم‌های میراگر |
| ۴۴-۴ | شرایط خاک |
| ۴۴-۴ | فلسفه بارگذاری، تحلیل و طراحی آثار ناشی از زمین‌لرزه |
| ۴۵-۴ | ترکیب آثار ناشی از زلزله با سایر عوامل |
| ۱-۵ | فصل پنجم : تحلیل |
| ۳-۵ | ۱-۵ تعریف |
| ۳-۵ | ۲-۵ مبانی تحلیل |
| ۳-۵ | ۱-۲-۵ کنش‌های طراحی |
| ۳-۵ | ۲-۲-۵ آثار ناکاملی |
| ۳-۵ | ۱-۲-۲-۵ دسته‌بندی ناکاملی‌ها |
| ۴-۵ | ۲-۲-۲-۵ بررسی ناکاملی‌ها |
| ۴-۵ | ۳-۲-۲-۵ ماهیت تصادفی ناکاملی‌ها |
| ۴-۵ | ۴-۲-۲-۵ نحوه اعمال آثار ناکاملی‌های هندسی |
| ۵-۵ | ۵-۲-۲-۵ نحوه اعمال آثار ناکاملی‌های مکانیکی |

- ۳-۲-۵ آثار انعطاف‌پذیری اتصالات و پیوندها ۶-۵
- ۱-۳-۲-۵ دسته‌بندی اتصالات از دیدگاه میزان انتقال لنگر بین اعضا و پیوندها ۶-۵
- ۲-۳-۲-۵ انتخاب نوع اتصال ۷-۵
- ۳-۳-۲-۵ آثار رفتار اتصالات ۷-۵
- ۴-۲-۵ آثار درجه دوم و رفتار غیرخطی ۷-۵
- ۱-۴-۲-۵ عوامل اصلی ایجاد رفتار غیرخطی در سازه‌های فضاکار ۸-۵
- ۲-۴-۲-۵ مراتب تأثیر عوامل اصلی در رفتار سازه‌های فضاکار ۸-۵
- ۵-۲-۵ تحلیل تجربی تنش‌ها و تغییرشکل‌ها ۹-۵
- ۶-۲-۵ ملاحظات مربوط به حالات حدی متناسب با روش‌های طراحی ۹-۵
- ۱-۶-۲-۵ دسته‌بندی حالات حدی ۹-۵
- ۲-۶-۲-۵ تشخیص نوع تحلیل با توجه به حالت طراحی موردنظر ۱۰-۵
- ۳-۵ مدل‌سازی ۱۰-۵
- ۱-۳-۵ مدل‌سازی مجموعه ۱۰-۵
- ۲-۳-۵ مدل‌سازی اجزای سازه‌ای ۱۰-۵
- ۱-۲-۳-۵ مدل‌سازی اعضا ۱۰-۵
- ۲-۲-۳-۵ مدل‌سازی پیوندها و اتصالات ۱۱-۵
- ۳-۲-۳-۵ تکیه‌گاه‌ها ۱۱-۵
- ۴-۲-۳-۵ پوشانه‌ها ۱۱-۵
- ۳-۳-۵ مدل‌سازی مکانیکی ۱۱-۵
- ۱-۳-۳-۵ مدل‌سازی رفتار مصالح ۱۱-۵
- ۲-۲-۳-۵ مدل‌سازی سیستم‌های مکانیکی ۱۲-۵
- ۴-۳-۵ مدل‌سازی هندسی سازه ۱۲-۵
- ۵-۳-۵ مدل‌سازی کنش‌ها و بارهای مؤثر ۱۲-۵
- ۱-۵-۳-۵ مدل‌سازی بارهای مؤثر ۱۲-۵
- ۲-۵-۳-۵ مدل‌سازی آثار ناکاملی‌ها ۱۲-۵
- ۶-۳-۵ مدل‌سازی اجزای غیرسازه‌ای ۱۲-۵
- ۷-۳-۵ مدل‌سازی ریاضی ۱۳-۵
- ۴-۵ روش‌های تحلیل ۱۳-۵
- ۱-۴-۵ دسته‌بندی تحلیل براساس نوع بار و پاسخ سازه ۱۴-۵
- ۱-۱-۴-۵ تحلیل استاتیکی ۱۴-۵
- ۲-۱-۴-۵ تحلیل دینامیکی ۱۴-۵

| | |
|------|---|
| ۱۴-۵ |دسته‌بندی تحلیل استاتیکی |
| ۱۴-۵ |تحلیل خطی ۱-۲-۴-۵ |
| ۱۴-۵ |تحلیل غیرخطی ۲-۲-۴-۵ |
| ۱۵-۵ |تحلیل ناپایداری (استاتیکی) ۳-۲-۴-۵ |
| ۱۶-۵ |دسته‌بندی تحلیل دینامیکی ۳-۴-۵ |
| ۱۶-۵ |نحوه تحلیل دینامیکی خطی ۱-۳-۴-۵ |
| ۱۷-۵ |تحلیل دینامیکی غیرخطی ۲-۳-۴-۵ |
| ۱۸-۵ |تحلیل ناپایداری دینامیکی ۳-۳-۴-۵ |
| ۱۹-۵ |تحلیل سازه‌های فضاکار به روش پاره‌سازه‌ها ۴-۴-۵ |
| ۱-۶ | فصل ششم: طراحی اعضا، اتصالات و تکیه‌گاه‌ها |
| ۳-۶ |۱-۶ کلیات |
| ۳-۶ |۲-۶ طراحی اعضا |
| ۴-۶ |۱-۲-۶ ضرایب کاهش مقاومت در طراحی به روش حالت حدی نهایی |
| ۴-۶ |۲-۲-۶ مقادیر حالات حدی بهره‌برداری |
| ۴-۶ |۳-۲-۶ طراحی اعضا بر اساس ماهیت نیروهای اعضا |
| ۴-۶ |۱-۳-۲-۶ طراحی اعضای تحت تأثیر نیروی محوری کششی |
| ۵-۶ |۲-۳-۲-۶ طراحی اعضای تحت تأثیر نیروی محوری فشاری |
| ۶-۶ |۳-۳-۲-۶ طراحی اعضای تحت تأثیر خمش |
| ۷-۶ |۴-۳-۲-۶ طراحی اعضای تحت تأثیر ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی |
| ۷-۶ |۴-۲-۶ ملاحظات در مورد طراحی اجزای سازه‌های اعضای سازه‌های فضاکار |
| ۸-۶ |۳-۶ طراحی اتصالات و پیوندها |
| ۸-۶ |۱-۳-۶ کلیات |
| ۹-۶ |۲-۳-۶ دسته‌بندی اتصالات |
| ۹-۶ |۱-۲-۳-۶ دسته‌بندی از دیدگاه میزان صلبیت |
| ۱۱-۶ |۲-۲-۳-۶ دسته‌بندی از دیدگاه روش اجرای اتصال |
| ۱۵-۶ |۳-۲-۳-۶ دسته‌بندی از دیدگاه مدول‌های مینا |
| ۱۶-۶ |۳-۳-۶ مبانی و معیارهای طراحی اتصالات |
| ۱۶-۶ |۱-۳-۳-۶ دسته‌بندی پیوندها |
| ۱۶-۶ |۲-۳-۳-۶ مبانی و معیارهای طراحی سیستم‌های پیونده استاندارد |
| ۱۷-۶ |۳-۳-۳-۶ مبانی و معیارهای طراحی سیستم‌های پیونده خاص |
| ۱۸-۶ |۴-۶ طراحی تکیه‌گاه‌ها و دستگاه‌های تکیه‌گاهی |

| | | |
|-----|--|---------|
| ۱۸۶ | طراحی تکیه‌گاه‌ها | ۱-۴-۶ |
| ۱۹۶ | طراحی دستگاه‌های تکیه‌گاهی | ۲-۴-۶ |
| ۱۹۶ | الزامات حالات حدی | ۱-۲-۴-۶ |
| ۱۹۶ | عمر طرح | ۲-۲-۴-۶ |
| ۱۹۶ | پیش‌بینی‌های لازم برای جای‌گذاری، جابه‌جایی، تنظیم مجدد و دسترسی | ۳-۲-۴-۶ |
| ۲۰۶ | دوام | ۴-۲-۴-۶ |
| ۲۰۶ | قید حرکتی | ۵-۲-۴-۶ |
| ۲۰۶ | برکنش | ۶-۲-۴-۶ |
| ۲۰۶ | صفحات پخش بار دستگاه‌های تکیه‌گاهی | ۷-۲-۴-۶ |
| ۲۰۶ | دستگاه تکیه‌گاه‌های الاستومر | ۸-۲-۴-۶ |
| ۲۱۶ | دستگاه تکیه‌گاه‌های چنددورانی با بار زیاد | ۹-۲-۴-۶ |
| ۲۲۶ | طراحی اجزا و پوشانه‌های غیرسازه‌ای | ۵-۶ |
| ۲۲۶ | اجزای غیرسازه‌ای | ۱-۵-۶ |
| ۲۲۶ | زیرسازی پوشانه | ۲-۵-۶ |
| ۱-۷ | فصل هفتم: طراحی به کمک آزمایش | |
| ۳-۷ | کلیات | ۱-۷ |
| ۳-۷ | دسته‌بندی انواع آزمایش‌ها در تناسب با اهداف مطالعات | ۲-۷ |
| ۵-۷ | انواع آزمایش‌ها | ۳-۷ |
| ۵-۷ | برنامه‌ریزی و طراحی آزمایش‌ها | ۴-۷ |
| ۵-۷ | موارد عمومی | ۱-۴-۷ |
| ۶-۷ | اهداف آزمایش، حیطة و دامنه کار | ۲-۴-۷ |
| ۶-۷ | تخمین نتایج آزمایش یا نتایج مورد انتظار آزمایش | ۳-۴-۷ |
| ۶-۷ | مشخصات نمونه‌های آزمایش و نحوه نمونه‌گیری | ۴-۴-۷ |
| ۷-۷ | مشخصات بارگذاری | ۵-۴-۷ |
| ۷-۷ | طراحی مجموعه آزمایش و نصب تجهیزات و ابزاربندی | ۶-۴-۷ |
| ۷-۷ | روش اندازه‌گیری کمیت‌ها | ۷-۴-۷ |
| ۸-۷ | ارزیابی، پردازش و پالایش داده‌ها، تجزیه و تحلیل نتایج، استنتاج و جمع‌بندی و ارایه گزارش آزمایش | ۵-۷ |
| ۸-۷ | استخراج مقادیر کمیت‌ها برای طراحی | ۱-۵-۷ |
| ۸-۷ | استخراج مقدار مشخصه از آزمایش‌ها | ۲-۵-۷ |
| ۸-۷ | ضرایب پاره‌ای | ۳-۵-۷ |
| ۸-۷ | آثار عواملی که از طریق آزمایش پوشش داده نشده‌اند | ۴-۵-۷ |

| | |
|--------|---|
| ۹-۷ | تعیین مقادیر طراحی از روش مستقیم |
| ۹-۷ | ۶-۵-۷ مقایسه نتایج آزمایش با مقادیر پیش‌بینی شده از طریق مطالعات نظری |
| ۹-۷ | ۷-۵-۷ ارزیابی نتایج آزمایش براساس روش‌های آماری |
| ۱۰-۷ | ۶-۷ تعیین مقادیر کمیت‌های طراحی به روش آماری |
| ۱۰-۷ | ۱-۶-۷ موارد عمومی |
| ۱۰-۷ | ۷-۷ تعیین آماری مدل‌های مقاومت |
| ۱۰-۷ | ۱-۷-۷ موارد عمومی |
| ۱۱-۷ | ۸-۷ راهنمای آزمایش‌های بارگذاری (سازه یا زیرمجموعه‌ها) |
| ۱۱-۷ | ۱-۸-۷ کلیات |
| ۱۲-۷ | ۲-۸-۷ اهداف و شرایط آزمایش |
| ۱۳-۷ | ۳-۸-۷ روش‌های عمومی آزمایش بارگذاری |
| ۱۴-۷ | ۴-۸-۷ فرایندهای ویژه |
| ۱۵-۷ | ۵-۸-۷ آزمایش مقاومت |
| ۱۶-۷ | ۶-۸-۷ آزمایش تا خرابی |
| ۱۸-۷ | ۷-۸-۷ آزمایش‌های کنترل کیفیت |
| ۱- الف | پیوست ۱- الف - نمونه‌هایی از سازه‌های فضاکار شبکه‌ای |
| ۱- ب | پیوست ۱- ب - برنامه‌های فرمینی برای تاشه‌های پیوست ۱- الف |
| ۱-۲ | پیوست ۲- گونه‌های اتصالات و پیوندها در سازه‌های فضاکار شبکه‌ای |
| ۳-۲ | ۱- سیستم گرهی (پیوندهای) |
| ۳-۲ | ۱-۱- سیستم‌های پیونده گوی‌سان |
| ۴-۲ | ۱-۱-۱- سیستم پیونده گوی‌سان KK |
| ۶-۲ | ۲-۱-۱- سیستم پیونده گوی‌سان KRUPP MANTAL |
| ۶-۲ | ۳-۱-۱- سیستم پیونده گوی‌سان ZUBLIN |
| ۸-۲ | ۴-۱-۱- سیستم پیونده گوی‌سان UNITRUSS |
| ۹-۲ | ۵-۱-۱- سیستم پیونده گوی‌سان ORONA |
| ۱۰-۲ | ۶-۱-۱- سیستم پیونده گوی‌سان TRUSS_KT |
| ۱۱-۲ | ۷-۱-۱- سیستم پیونده گوی‌سان SCAN SPACE |
| ۱۱-۲ | ۲-۱- سیستم‌های پیونده نیامی (Socket Joint Systems) |
| ۱۲-۲ | ۱-۲-۱- سیستم پیونده نیامی (Nippon steel) NS |
| ۱۲-۲ | ۲-۲-۱- سیستم پیونده نیامی SPHEROBAT |

- ۱-۲-۳- سیستم پیونده نیامی TUBALL پ ۱۳-۲
- ۱-۲-۴- سیستم پیونده نیامی کاسان (آکام فلز)..... پ ۱۳-۲
- ۱-۳-۳- سیستم‌های پیونده صفحه‌ای (Plate Joint System) پ ۱۴-۲
- ۱-۳-۱- سیستم پیونده صفحه‌ای KETRUS, POWER STRUT, UNISTRUT پ ۱۴-۲
- ۱-۳-۲- سیستم‌های پیونده صفحه‌ای OCTATUBE پ ۱۴-۲
- ۱-۳-۳- سیستم‌های پیونده صفحه‌ای TORUS GESTO ARTO, TRIDIMATEC پ ۱۵-۲
- ۱-۴-۱- سیستم‌های پیونده شکافی (Slot Joint System) پ ۱۷-۲
- ۱-۵-۱- سیستم‌های پیونده پوسته‌ای (Shell Joint System) پ ۱۸-۲
- ۱-۵-۱- سیستم‌های پیونده پوسته‌ای OKTAPLATTE پ ۱۸-۲
- ۱-۵-۲- سیستم‌های پیونده پوسته‌ای NODUS پ ۱۸-۲
- ۱-۵-۳- سیستم‌های پیونده پوسته‌ای SDC پ ۱۹-۲
- ۲- سیستم‌های واحدی (Modular System) پ ۱۹-۲
- ۱-۲- سیستم واحدی SPACE DECK پ ۱۹-۲
- ۲-۲- سیستم واحدی UNIBAT پ ۲۱-۲
- ۳-۲- سیستم واحدی CUBIC پ ۲۲-۲
- ۳- سیستم ترکیبی (Compositive System) پ ۲۳-۲
- پیوست ۳- تعیین شاخص انعطاف‌پذیری اتصالات سازه‌های فضاکار شبکه‌ای پ ۱-۳
- پیوست ۴- گونه‌های ناپایداری در سازه‌های فضاکار شبکه‌ای پ ۱-۴
- ۱- ناپایداری عضوی پ ۳-۴
- ۲- ناپایداری گرهی پ ۳-۴
- ۳- ناپایداری پیچشی گرهی پ ۴-۴
- ۴- ناپایداری حالات توأم ناپایداری پ ۵-۴
- ۵- ناپایداری در امتداد مسیر پ ۵-۴
- ۶- ناپایداری کلی پ ۶-۴
- پیوست ۵- رده‌های ناپایداری در سازه‌های فضاکار شبکه‌ای پ ۱-۵
- ۱- فروجهش گرهی پ ۳-۵
- ۲- فروجهش عضوی پ ۴-۵
- ۳- آثار توأم فروجهش گرهی و عضوی پ ۸-۵
- پیوست ۶-الف- مبانی طراحی پ ۱-۶
- پیوست ۶-ب- ملزومات طراحی پ ۳-۶

| | |
|---|-------|
| پیوست ۷- اصول و شیوه‌های اجرای سازه‌های فضاکار | پ ۱-۷ |
| ۱-۷- مفاهیم عمومی | پ ۳-۷ |
| ۲-۷- ملزومات ساخت و نصب | پ ۳-۷ |
| ۳-۷- مشخصات فنی اجرا | پ ۳-۷ |
| ۴-۷- محدودیت‌ها در کاربری مصالح و به کارگیری شیوه‌های ساخت | پ ۴-۷ |
| ۵-۷- اتصالات پیچی | پ ۴-۷ |
| ۶-۷- اتصالات جوشی | پ ۴-۷ |
| ۷-۷- مصالح سخت شده | پ ۴-۷ |
| ۸-۷- رواداری‌ها | پ ۴-۷ |
| ۱۸-۷- طبقه‌بندی رواداری‌ها | پ ۴-۷ |
| ۲۸-۷- رواداری‌ها در مراحل تولید، ساخت و نصب | پ ۵-۷ |
| ۹-۷- مدیریت کیفیت | پ ۶-۷ |
| ۱-۹-۷- بازرسی فنی و آزمایش‌های کنترل کیفیت | پ ۶-۷ |
| ۲-۹-۷- تضمین کیفیت | پ ۶-۷ |
| ۱۰-۷- اصول ایمنی اجرا | پ ۷-۷ |
| ۱۱-۷- ساخت، بافت و نصب سازه‌های فضاکار شبکه‌ای فولادی | پ ۷-۷ |
| ۱۲-۷- شناسنامه مصالح و قطعات و اعضا | پ ۷-۷ |
| ۱۳-۷- حمل و تحویل قطعات ساخته شده | پ ۸-۷ |
| ۱۴-۷- نصب | پ ۸-۷ |
| ۱-۱۴-۷- روش نصب | پ ۸-۷ |
| ۲-۱۴-۷- جزییات اتصالات و نحوه اجرای اتصالات | پ ۸-۷ |
| ۳-۱۴-۷- تحویل و انبار نمودن مصالح، تولیدات، اعضا و اجزا | پ ۸-۷ |
| ۱۵-۷- حفاظت در برابر خوردگی | پ ۹-۷ |
| پیوست ۸- اصول مستندسازی | پ ۱۸ |
| ۱-۸- نقشه‌های طراحی و مشخصات فنی پروژه | پ ۳۸ |
| ۲-۸- نقشه‌های جزییات اجرایی ساخت کارخانه‌ای | پ ۳۸ |
| ۳-۸- نقشه‌های جزییات جانمایی، بافت، نصب و اجرای کارگاهی | پ ۳۸ |
| ۴-۸- نقشه‌های وضعیت اجرا شده یا نقشه‌های چون ساخت | پ ۴۸ |
| ۵-۸- نقشه‌های معماری، تأسیسات الکتریکی و مکانیکی و مشخصات فنی مربوط | پ ۴۸ |
| ۶-۸- موارد مواجهه با تناقض | پ ۴۸ |
| ۷-۸- تجدید نظرها | پ ۴۸ |

۸- نحوه تأیید نقشه‌های ساخت و نصب کارخانه‌ای قطعات پیش ساخته..... پ ۴-۸

۹- مستندسازی نقشه‌ها از طریق روش‌های کامپیوتری طراحی، نقشه‌کشی و بایگانی اسناد..... پ ۵-۸

فهرست مراجع اصلی

واژه‌نامه

خلاصه انگلیسی

برنامه تدوین آیین نامه سازه های فضاکار

پیشگفتار

سازه‌های فضاکار گروهی از سازه‌ها هستند که دارای رفتار مسلط سه‌بعدی بوده، معمولاً در خور تولید صنعتی انبوه بوده و در این حالت، قیود فنی و اقتصادی را با تلفیق مناسبی از مفاهیم سازه‌ای، اصول ایمنی، دیدگاه‌های زیبا شناختی و جنبه‌های اقتصادی ارضا می‌نمایند.

متداول‌ترین کاربرد سازه‌های فضاکار در ساخت پوشانه‌های بناهایی است که در آنها عملکرد ساختمان ایجاب می‌نماید که دارای دهانه آزاد نسبتاً بزرگ در دو جهت متعامد باشند. بدیهی است که این نوع از سازه‌های فضاکار در استادیوم‌های ورزشی و تالارهای اجتماعات، نمایشگاه‌های چندمنظوره، مراکز فرهنگی و هنری، مصلی‌ها و مساجد، آشیانه‌های هواپیما، سالن‌های صنعتی، انبارهای وسیع و انواع پایانه‌های مسافربری کاربرد فراوان دارند. در ایران به این‌گونه سازه‌ها نیاز فراوان و روبه‌تزايدی وجود دارد و بهترین پاسخ برای چنین کاربردی، بدون شک سازه‌های فضاکار می‌باشند ولی متأسفانه از این قابلیت‌ها به نحو شایسته‌ای در کشور بهره‌گیری نشده است.

با توجه به ویژگی‌های سازه‌های فضاکار، آیین‌نامه‌ها و ضوابط موجود تحلیل، طراحی و اجرای ساختمان‌های متداول مسکونی و اداری به هیچ‌وجه پاسخگوی نیازهای طراحی و اجرای سازه‌های فضاکار نبوده و ایجاب می‌نماید که آیین‌نامه ویژه سازه‌های فضاکار که در برگیرنده ویژگی‌های رفتاری، تحلیلی، طراحی و اجرایی این نوع از سازه‌ها باشد، تدوین و مورد استفاده قرار گیرد. متأسفانه در سطح جهانی آیین‌نامه مدونی برای سازه‌های فضاکار جهت استفاده عمومی مهندسان موجود نمی‌باشد. آنچه برخی از شرکت‌های بزرگ سازه‌های فضاکار که در سطح بین‌المللی فعالیت می‌نمایند برای کاربرد داخلی مورد استفاده قرار می‌دهند، محدود به دستورالعمل‌هایی است که اغلب جنبه‌های اجرایی سیستم خاص تولیداتشان را در بر می‌گیرد و لذا کاربردی محدود به سیستم خود داشته و علاوه بر آن از نقطه نظر تجاری محرمانه تلقی می‌گردد و در اختیار عموم قرار داده نمی‌شود و آیین‌نامه مختصری نیز که در کشور چین تهیه گردیده است و در حین انجام مرحله مقدماتی طرح حاضر در اختیار کمیته تدوین قرار گرفت، فاقد جامعیت لازم برای پاسخگویی به نیازهای مهندسی سازه‌های فضاکار از نقطه نظر تحلیل، طراحی و اجرا و همچنین کنترل و تضمین کیفیت انواع متفاوت سازه‌های فضاکار می‌باشد.

با توجه به آن‌که هنوز استفاده گسترده از سازه‌های فضاکار در ایران به نحو شایسته‌ای تحقق نیافته و با در نظر گرفتن آن‌که متخصصان ممتازی در زمینه سازه‌های فضاکار در کشورمان و همچنین در ارتباط نزدیک در خارج از کشور حضور دارند، تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار، از یک طرف موجب آن می‌گردد که سازه‌های فضاکاری که در آتیه بنا به نیاز روز افزون در کشورمان تولید و احداث خواهند گردید، مبتنی بر روش‌های صحیح و به نحوی قانونمند طراحی و اجرا گردند و لذا سرمایه‌های ملی به نحو شایسته و با طول عمر مفید طولانی مورد بهره‌برداری قرار داده شوند و از طرف دیگر، کشورمان به عنوان پرچمدار تدوین و ارایه این آیین‌نامه در سطح بین‌المللی سهم عمده‌ای در ارتقای دانش بشری و کیفیت خدمات مهندسی ایفا نماید.

به این ترتیب متعاقب برگزاری نخستین کنفرانس ملی سازه‌های فضاکار در دانشکده فنی دانشگاه تهران و در پی آن برگزاری دوره آموزشی سازه‌های فضاکار در سازمان یادشده، تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار که از آرزوهای دیرینه استاد گرانقدر **پروفسور هشیار نوشین** بوده است، با بذل توجه و پشتیبانی مسؤولین محترم وقت سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور به صورت تصمیمی جدی مطرح گردید.

متعاقب اعلام آمادگی دانشگاه تهران، در ارتباط با تقبل مسؤلیت تدوین آیین‌نامه مزبور و معرفی مجری مسؤول طرح و دبیر کمیته تدوین از طرف دانشگاه تهران، مسؤولیت تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار به دانشگاه تهران ارجاع گردید. طی جلساتی که متعاقب این امر با مسؤولین و کارشناسان محترم سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در ارتباط با نحوه انجام کار تشکیل گردید، مقرر شد که طرح تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار در دو مرحله به شرح زیر انجام پذیرد:

۱. مرحله مقدماتی

۲. مرحله تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار

موضوع کار در مرحله مقدماتی شامل بررسی و تعیین ساختار آیین‌نامه، روش انجام کار، اولویت‌بندی مراحل تدوین، تعیین گروه‌های کاری و مسؤولیت‌های مربوط، تدوین برنامه زمان‌بندی، برآورد هزینه و ارایه گزارش توجیهی تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار می‌گردید و مقرر گردیده بود که شرح موضوع مرحله تدوین آیین‌نامه پس از انجام خدمات و تصویب مرحله اول طرح مشتمل بر موارد زیر تبیین و تدقیق گردد.

- تعیین حوزه تأثیر آیین‌نامه، چارچوب و دامنه کار
- تعیین ساختار (آرایه) آیین‌نامه
- تعیین روش انجام کار
- بررسی سرفصل‌های پیشنهادی (ضمیمه) و تعیین سرفصل‌های کلی و جزئی
- تفکیک موضوعی سرفصل‌ها به بخش‌های تخصصی
- اولویت‌بندی مراحل تهیه و تدوین آیین‌نامه و اولویت‌بندی در پردازش موضوعات و سرفصل‌ها
- تعیین گروه کاری در ارتباط با هر بخش (موضوع) تخصصی
- تعیین مسؤول هر گروه کاری برای مرحله دوم
- تدوین شرح وظایف مسؤولین گروه‌های کاری و حدود مسؤولیت‌های تقبل شده
- تعیین اعضای نهایی کمیته اصلی تدوین آیین‌نامه
- تدوین برنامه کار و تهیه برنامه زمان‌بندی تدوین آیین‌نامه
- برآورد هزینه انجام طرح تدوین آیین‌نامه
- ارایه گزارش توجیهی

آیین‌نامه سازه‌های فضاکار

مقدمه

آیین‌نامه‌های طراحی و اجرای سازه‌ها و ابنیه فنی سهم عمده‌ای در فرایند احداث بنا- که هدف غایی طرح است - داشته، ملزوماتی را تبیین می‌نمایند که لازم است مهندسان در مجموعه فعالیت‌های زنجیره‌وار و مرتبط- از مطالعات توجیهی و امکان‌سنجی تا تحویل قطعی بنا و متعاقباً در مرحله بهره‌برداری و نگهداری - آنها را مدنظر داشته باشند، تا دستیابی به حداقل تراز ایمنی قابل‌پذیرش، میسر گردد.

آیین‌نامه‌های مبتنی بر دیدگاه‌های احتمال‌اندیشانه (قابلیت اطمینان) در دهه‌های اخیر گسترش چشمگیری یافته‌اند. این آیین‌نامه‌ها معمولاً راهنمایی‌های لازم را در زمینه کنش‌ها (بارها و عوامل) ی مؤثر بر ابنیه و همچنین ظرفیت باربری اعضا و اجزای سازه به منظور طراحی ارایه می‌دهند. حاشیه ایمنی مورد نظر با در نظر گرفتن ضرایب بار (منتج به اعمال بارهای محافظه‌کارانه) و همچنین ضرایب مقاومت (ظرفیت باربری طراحی) تأمین می‌گردد.

فروریزی و گسیختگی سازه‌ها، نگرانی ناکامی دست‌اندرکاران در انجام وظایف خطیرشان بوده و همواره در جوامع با تأثیر نامطلوبی بر حیثیت مهندسان همراه بوده است. این گونه ناکامی‌ها و فجایع از یک دیدگاه مرتبط با معرفت زمان و در اثر عدم شناخت کافی رفتار سازه‌ها، مصالح و عوامل مؤثر بوده، گاه در اثر بی‌توجهی و عدم امعان‌نظر به سنگینی بار مسؤولیت مهندسان حادث گردیده و گاه به قصد صرفه‌جویی یا سودجویی‌های منجر به نقض اصول ایمنی به‌وقوع پیوسته‌اند.

احتمال گسیختگی و فروریزی در مورد پروژه‌هایی که طی آنها مصالح جدید و فناوری نوین به کار گرفته می‌شوند، فزونی می‌گیرد؛ اگرچه ابداعات نوین در این زمینه‌ها لازمه توسعه و پیشرفت جوامع بشری در زمان‌های مختلف بوده است - و ما شاهد ابداعات غرورآمیز و نقاط عطف افتخارآمیزی در تاریخ تکوین مهندسی سازه بوده‌ایم - گاه، ناکامی‌های عبرت‌آموزی را نیز تجربه کرده‌ایم.

همچنین انتظار می‌رود چنین ناکامی‌هایی در مورد سازه‌هایی که معمولاً دارای دهانه‌های آزاد قابل ملاحظه‌اند، مانند سازه‌های آشیانه‌ها، ورزشگاه‌ها، سالن‌های اجتماعات، مساجد و مصلی‌ها، نمایشگاه‌ها و فضاهای عمومی سرپوشیده و پل‌های طولی، یا سازه‌های بلند احتمال وقوع افزون‌تری در مقایسه با سازه‌های متعارف داشته باشند. بنابراین لازم است از یک سو سیستم‌های سازه‌ای متضمن قابلیت اطمینان قابل ملاحظه در مقابل انواع گسیختگی و از جمله گسیختگی پیشرونده را شناسایی و مورد بهره‌گیری قرار داد و از سوی دیگر، در آیین‌نامه‌های مربوط، حاشیه ایمنی منطقی اختیار نمود و متناسباً گزینش سیستم سازه و شیوه ساخت و همچنین فلسفه و معیارهای طراحی را جزء تفکیک‌ناپذیری از فرایند طراحی و ساخت تلقی کرد.

لذا مهندسان در تلاش‌شان برای ساختن دنیای بهتری برای هم‌نوعان خود و پاسخگویی به نیازهای جوامع متحول، دستاوردهای دانش بشری، معرفت زمان و قابلیت‌های فناوری روز را در چارچوب‌های قابل تعمیم به صورت دستورالعمل‌ها، راهنماها و آیین‌نامه‌های طراحی و اجرای سازه‌ها شکل داده‌اند. از اهداف مهم چنین آیین‌نامه‌هایی تعریف مقادیر و نحوه اعمال بارها و نحوه ملحوظ‌داشتن آثار کنش‌های محتمل به منظور طراحی و ارایه روش‌شناسی برای مدل‌سازی سازه و تخمین پاسخ قریب به واقعیت سازه تحت تأثیر این عوامل و شناخت پدیده‌ها و گونه‌های مختلف محتمل گسیختگی و کمی نمودن گسیختگی و حاشیه اطمینان

نسبت به گسیختگی خواهد بود. متعاقباً فرایندهای تحلیل و طراحی مجدد تا نیل به طرح قابل دفاع از نظر تلفیق ملزومات ایمنی و دیدگاه‌های اقتصادی، دنبال خواهد گردید.

با این مقدمه طی سطورى چند، کلیات برنامه تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار و دلایل ضرورت تدوین این آیین‌نامه به شرح زیر مورد بحث قرار داده شده است.

کلیات

اصول تدوین آیین‌نامه‌های متنوع طراحی، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری انواع سازه‌ها و ابنیه و همچنین محتوا، ساختار، آرایه و شیوه تدوین و تصویب مجموعه آن‌ها لازم‌است در چارچوب اسلوب واحد و سامانه هماهنگی تجمیع یابد تا امکان بهره‌برداری سازگار و رجوع به یکدیگر و ارتباطات لازم بدون ابهام فراهم گردد. طبعاً تبیین حوزه فراگیری آیین‌نامه و دامنه کار از نخستین مواردی است که باید مورد توجه قرار داده شود. تعاریف اصلی و مفاهیم اولیه باید به طور روشن و واضح آرایه گردند. هدف از تدوین آیین‌نامه‌هایی از این دست آن‌است که بر اساس معیارهای فنی پذیرفته‌شده، زمینه‌های ارتقای کیفی فراهم گردد و تولید سازه‌ها با رعایت جنبه‌های ایمنی و اقتصادی، گسترش یابد. چنین آیین‌نامه‌ای روند فعالیت‌های لازم را بر منطق قابل دفاعی مبتنی می‌سازد و با رعایت ضوابط مندرج در آیین‌نامه‌ها طراحان و سازندگان سازه‌ها با اطمینان خاطر به فعالیت‌های خود می‌پردازند. از یک سو، از اهداف تدوین چنین آیین‌نامه‌هایی، تسهیل ارتباط و تبادل نظر میان دست‌اندرکاران صنایع ساختمانی است و از سوی دیگر، نیل به ایمنی و کیفیت لازم و مکفی در عین توجه به جنبه‌های اقتصادی و صرفه جویی در هزینه‌های احداث، بهره‌برداری و نگهداری است. از جنبه‌های مهمی که لازم‌است در تدوین آیین‌نامه‌ها مورد توجه قرار داده شود، ارتقای کیفیت زیست، ایمنی و بهداشت و حفاظت از محیط زیست را می‌توان برشمرد. همچنین تدوین آیین‌نامه‌ها برای انواع تخصصی سازه‌هایی که در چارچوب آیین‌نامه‌های جاری نمی‌گنجند، باعث ترغیب دست‌اندرکاران به بهره‌گیری - با قابلیت اعتماد مکفی - از این نوع از سازه‌ها گردیده و در نتیجه منجر به گسترش کاربرد آنها و طبعاً افزایش گزینه‌های طرح‌ها و یافتن روش‌های بهینه به منظور برآوردن نیازهای جوامع خواهد گردید.

همچنین در عین پاسخگویی به نیازهای روش‌های ساخت درجا، تشویق تولید سازه‌های مدولار، تولید انبوه صنعتی، کاهش تنوع اجزا، ارتقای کیفیت و ایمنی از جمله اهداف تدوین چنین آیین‌نامه‌هایی خواهد بود.

عملکرد اصلی آیین‌نامه یا آیین‌کاربرد یک نوع از سازه، آرایه توصیه‌های کاربردی پذیرفته شده توسط دست‌اندرکاران پرقابلیت در حرفه مربوطه در زمینه طراحی، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری آن گروه از سازه‌ها می‌باشد. طبعاً تدوین آیین‌نامه یکی از مراحل فرایند بوده و کاربرد صحیح آن مرحله مهم دیگری از کار خواهد بود. بازخور نتایج کاربرد آیین‌نامه منجر به بازنگری و تجدیدنظر، اصلاح یا جایگزینی آیین‌نامه خواهد گردید. لذا به منظور تدوین آیین‌نامه‌ها و استانداردها لازم‌است موارد زیر در نظر گرفته شود:

- شناسایی ضرورت تدوین آیین‌نامه
- برنامه‌ریزی و مدیریت فرایند
- تدوین آیین‌نامه
- تشویق و نظارت بر کاربرد
- بررسی باز خور نتایج حاصل از کاربرد و در صورت لزوم تجدید نظر و اصلاح آیین‌نامه

سازه‌های فضاکار

مقدمه و کلیات

- ما در فضای سه‌بعدی زندگی می‌کنیم.
 - هر سازه‌ای فضای سه‌بعدی را اشغال می‌کند.
 - هر سازه‌ای در واقع به صورت سه‌بعدی رفتار می‌نماید.
 - طبیعت هم دارای سازه‌هایی است که دارای رفتار سه‌بعدی هستند.
 - رفتار برخی از سازه‌ها به گونه‌ای است که اثر یک بعد تحت‌الشعاع آثار رفتاری در دو بعد دیگر است. این گونه سازه‌ها رفتار مسلط دوبعدی داشته و به سازه‌های سنتی موسوم‌اند.
 - گاه با وجود آنکه سازه به صورت سه‌بعدی رفتار می‌کند، روش طرح به نحوی است که برای سهولت محاسبات، سازه را به زیر مجموعه‌های صفحه‌ای (دوبعدی) تقسیم می‌نمایند. این امر گاه خطای قابل ملاحظه‌ای در تخمین رفتار سازه به دنبال خواهد داشت.
 - قاب متشکل از تیر و ستون با اتصالات صلب در هر دو جهت، یک سازه یا قاب فضاکار به معنای اعم است.
 - هر سازه پوسته‌ای، هر سازه حجیم، هر صفحه تحت اثر خمش، نمونه‌ای از سازه با عملکرد مسلط سه‌بعدی است.
- مثال:
- یک گنبد فضاکار اسکلتی مهاربندی شده،
 - گنبد فضاکار را به هیچ روی نمی‌توان به صورت یک سیستم صفحه‌ای تصور، تحلیل و طراحی نمود.

تقسیم‌بندی کلی سازه‌های فضاکار

سیستم فضاکار مشبک: با استخوان‌بندی و پیکربندی اسکلتی-اغلب شامل تعداد قابل توجهی اعضای نسبتاً طویل (اغلب) مستقیم‌الخط (وگاه) دارای انحنا (مانند اعضای موسوم به عناصر قاب یا خرپا) که در پیوندها به یکدیگر اتصال یافته‌اند. در حالتی که اجزای پوشانه این گونه سازه‌ها به صورت تفکیک‌ناپذیر در رفتار سازه‌ای دخیل باشند، سیستم‌های مختلط و دوگانه ایجاد می‌گردند. سیستم‌های مشبک تاشونده زیر مجموعه‌ای از این گروه به شمار می‌روند.

سیستم‌های غشای نازک تحت تنش: که در آنها پوشش (پوشانه) جدار نازک سازه جزء عمده و جدایی‌ناپذیر سیستم بار بر سازه به شمار می‌رود. سیستم‌های متشکل از ورق‌های چین دار نیز در همین گروه طبقه‌بندی می‌شوند.

سیستم‌های پوشانه‌ای متکی بر کابل‌ها: شبکه‌های متقاطع کابل‌ها، سیستم‌های ترکه‌ای، معلق یا آویخته.

سازه‌های کثیف بستی

سازه‌های بادی و سازه‌های هوانشین

مزایا و خصوصیات دیگر

- ایجاد امکان ساخت دهانه‌های بزرگ‌تر بدون پایه‌های میانی و ایجاد آزادی عمل برای معمار،
- جدایی ناپذیر بودن فرم سازه از معماری،
- ایجاد فصل مشترکی برای بهره‌گیری معماران پیشرو از قابلیت‌های مهندسان سازه مسلح به دانش نوین،
- امکان احداث سازه‌ها با کاربرد چندمنظوره.

سازه‌های فضاکار مشبک (اسکلتی)

- عبارت فوق تنها به گروهی از سازه‌های دارای عملکرد مسلط سه‌بعدی اطلاق می‌گردد که ویژگی‌های زیر در آنها مصداق دارد:
- اثر رفتاری هیچ‌یک از سه بعد در جذب نیروهای وارده قابل صرف‌نظر کردن نیست.
 - متشکل از اعضای منفصل خطی (اعضای خرپا، تیر، تیر-ستون) می‌باشد. به عبارت دیگر سیستم سازه پیوسته نبوده و از نوع اسکلتی می‌باشد.
 - به عنوان قاعده (صرف‌نظر از استثناها)، اغلب شامل تعداد قابل توجهی از اجزا و زیرمجموعه‌های ساده و تکرارشونده می‌باشد.
 - اجزا و زیرمجموعه‌های ساده اغلب در خور پیش‌سازی و تولید انبوه می‌باشند و در ابعاد و اشکال استاندارد اختیار می‌گردند.
 - با استفاده از قابلیت برابری در ۳ بعد، امکان کاهش وزن فراهم می‌آید. از اینرو سازه‌های فضاکار مشبک اسکلتی معمولاً سبک ولی بالنسبه صلب می‌باشند.
 - متداول‌ترین کاربرد این نوع سازه‌ها در ساخت پوشش یا سقف ابنیه‌ای است که در آنها عملکرد ساختمان ایجاب می‌نماید که دهانه‌های آزاد نسبتاً بزرگ در دو جهت در پلان ایجاد گردد.
 - معمولاً از دیدگاه زیباشناختی دارای اهمیت هستند.
 - معمولاً از ذخیره ظرفیت مقاومتی قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با سازه‌های سنتی برخوردارند.
 - معمولاً بسیار اقتصادی بوده و نیازهای اقتصادی به علت امکان صنعتی‌شدن ساخت، افزایش سرعت تولید و نصب، کاهش وزن و صرفه‌جویی در مصالح را برآورده می‌سازند.

به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود، برخی از این ویژگی‌ها در مورد سایر سیستم‌های سازه‌های فضاکار نیز صدق می‌نمایند.

اهمیت سازه‌های فضا کار در محیط مصنوع یا طبیعی

- سازه‌های فضاکار قابلیت‌ها و امکانات عمده‌ای را در اختیار مهندسان و معمارها برای تلفیق اصول زیباشناختی و نوآوری‌ها با جنبه‌های رفتاری، عملکردی، کاربری و سرویس‌دهی سازه قرار می‌دهند.
- تمامی سازه‌ها باید از دیدگاه زیباشناسی و هماهنگی با محیط مصنوعی یا طبیعی مورد مطالعه قرار داده شوند.
- با توجه به آنکه اغلب سازه‌های فضاکار وسیع و بزرگ هستند، اثر قابل توجهی بر محیط باقی می‌گذارند.

- بیش از دیگر سازه‌ها، فضا را معرفی می‌نمایند.
- فرم پروژه توسط سازه تعریف می‌شود.

پیوندها

پیوندها معرف منطق سازه فضاکاراند.

- پیوندها باید سخت و مقاوم باشند.
- باید ساده باشند (از نظر فرم وامکان برقراری اتصال).
- به سهولت ساخته شوند و قابلیت تولید صنعتی داشته باشند.
- برون محوری در پیوندها باید به حداقل ممکن برسد.
- رواداری اجرایی لازم در طراحی پیوندها باید پیش‌بینی شده باشد.
- اصلاح، تعمیر و نگهداری آنها به سهولت امکان‌پذیر باشد.
- قابلیت پذیرش تعداد قابل توجهی عضو را بر حسب نیاز دارا باشند.
- ترجیحاً هر عضو مستقلاً به پیونده متصل گردد.
- زاویه فضایی بین اعضا قابل توجه باشد.

تعریف کلی

در اینجا کوشش به عمل آمده است که تعریف فراگیری از سازه‌های فضاکار ارایه گردد که در عین حال در خور شأن این گروه از سازه‌ها نیز باشد. در این تعریف اصل فدای فرع نشده و جزئیات کلیات را تحت الشعاع قرار نمی‌دهند:

سازه‌های فضاکار عمدتاً دارای فرم بدیع مستوی یا منحنی در فضا بوده و با واحدهای حتی المقدور یکسان در الگویی تکرار شونده احداث می‌شوند.

اهداف، حوزه فراگیری و دامنه کار

سازه‌های فضاکار مشمول این آیین‌نامه

مقدمه

به طوری که اشاره شد، در سازه‌های فضاکار، ترکیب مجموعه تاشه و فرم هندسی، بارهای خارجی، نیروهای داخلی و تغییر مکان‌های سازه در یک صفحه قرار نگرفته و از آن فراتر رفته و به سه بعد گسترش می‌یابند. در عمل، **سازه‌های فضاکار** به گروه‌هایی از سازه‌ها، عمدتاً شامل شبکه‌های تخت، چلیک‌ها، گنبدها، دکل‌ها، شبکه‌های متشکل از کابل‌ها، سازه‌های غشایی، سازه‌های تاشو، سازه‌های کش‌بستی و نظایر آنها اطلاق می‌گردد. سیستم‌های نوین متشکل از عناصر کششی و فشاری خود متعادل‌کننده کش‌بستی امروزه از جذبۀ زیادی برخوردارند. سازه‌های فضاکار شکل‌های گوناگون و متنوع به خود گرفته و از انواع

متفاوت مصالح مانند فولاد، آلومینیوم، چوب، بتن آرمه، مصالح مختلط و مواد پلاستیکی مسلح با انواع فیبرها، شیشه و ترکیبات این مصالح در ساخت سازه‌های فضاکار بهره‌گیری می‌شود.

سازه‌های فضاکار را می‌توان به شرح زیر نیز طبقه‌بندی نمود (پروفیسور نوشین، ۱۹۹۸). این طبقه‌بندی به بحث‌های بعدی، از جمله شناسایی سازه‌های فضاکار مشمول بخشی از آیین‌نامه حاضر که در مرحله اولویت کاری قرار داده شده است، مدد می‌رساند:

- **سازه‌های فضاکار مشبک**، که شامل اجزا و اعضای منفصل و معمولاً طویل می‌باشند.
- **سازه‌های فضاکار پیوسته**، که متشکل از اجزایی از قبیل دال، پوسته، غشای نازک و نظایر آن‌اند.
- **سازه‌های فضاکار دوگانه**، که مشتمل بر ترکیبی از اجزای منفصل و پیوسته می‌باشند.

به منظور روشن‌تر شدن امر که در حوزه فراگیری پیش‌بینی‌شده آیین‌نامه ذی‌مدخل خواهد بود، به اختصار به تشریح سازه‌های فضاکار با طبقه‌بندی فوق مبادرت می‌شود (پروفیسور نوشین، ۱۹۹۸):

شبکه‌های تک‌لایه تخت

شبکه عبارت است از سیستم سازه‌ای مشتمل بر یک یا تعدادی افزون‌تر لایه متشکل از مجموعه‌ای از اعضا. یک شبکه تک‌لایه یا شبکه تخت، متشکل است از اعضای تیر با اتصالات صلب (با قابلیت انتقال لنگر قابل ملاحظه) که در آن تمامی اعضا به نحوی مطلوب طراحی، اجرا و در درون صفحه واحدی هم‌بندی شده‌اند. معمولاً بارهای بیرونی وارد بر چنین شبکه تختی، از نوع نیروهای متعامد بر صفحه شبکه و لنگرهای اعمال‌شونده حول محورهای مار بر صفحه می‌باشند. تحت تأثیر چنین نیروهایی، تغییر مکان‌های حاصله در امتداد خارج از صفحه، مؤلفه قابل ملاحظه‌ای خواهند داشت. بنابراین اگرچه اعضای تیر در صورتی که به نحو مطلوب طرح و اجرا شده باشد (و در صورت صرف‌نظر نمودن از بعد قائم آنها) و تقریباً در درون یک صفحه واقع می‌گردند، ولی بارهای مؤثر و تغییر مکان‌های حاصله در امتداد عمود بر صفحه، مؤلفه‌های قابل توجه داشته و در نتیجه رفتار مجموعه تنها با ملحوظ‌داشتن سه بعد قابل بررسی است. تاشه‌های متداول شبکه‌های تخت شامل الگوهای دوراهی، سه‌راهی و چهارمسیره است. الگوهای دو راهی به عنوان ساده‌ترین تاشه‌ها متشکل از دو مجموعه از تیرهای متقاطع می‌باشند که در دو راستای معمولاً متعامد به موازات خطوط مرزی (شبکه راست‌گوشه) یا با زاویه تورب نسبت به مرزها (شبکه قطری) امتداد می‌یابند.

در طراحی تاشه مناسب یک شبکه تخت (تک‌لایه) برای کاربرد ویژه، پس از بررسی گزینه‌های متفاوت و شناسایی ویژگی‌های هر یک، با در نظر گرفتن شکل، نوع مقاطع تیر، نوع مصالح، موقعیت، وضعیت و شرایط تکیه‌گاه‌ها و خطوط مرزی و شیوه ساخت، امکان اتخاذ تصمیم منطقی در طراحی فراهم خواهد شد.

شبکه‌های دولایه

شبکه دولایه، از دولایه اعضای موازی تشکیل می‌گردد که به وسیله اعضای موسوم به جان به یکدیگر متصل می‌شوند. هنگامی که از چنین شبکه‌ای به عنوان پوشانه سقف با شیب اندک استفاده گردد، یکی از لایه‌های شبکه، لایه رویین و دیگری لایه زیرین نامیده می‌شود. در حالتی که از چنین شبکه‌هایی به عنوان دیواره‌های سازه بهره‌گیری شود، یکی از لایه‌های شبکه را لایه بیرونی و دیگری را لایه درونی، در مقایسه با موقعیت مرجع، می‌نامند.

شبکه‌های چندلایه

شبکه‌ها با ساختار چندلایه افزایش فاصله بین لایه‌های رویین و زیرین را ممکن و به این ترتیب امکان پوشاندن دهانه‌های وسیع‌تر با مصالح بالنسبه سبک را فراهم می‌آورند. در این حالت، وظیفه عمده لایه‌های میانی کاهش طول مؤثر اعضای جان می‌باشد.

تفاوت اساسی رفتار شبکه‌های تک لایه و چندلایه

تفاوت اساسی بین رفتار شبکه‌های تک‌لایه تخت و شبکه‌های دو یا چندلایه، عبارت است از آنکه شبکه‌های تک‌لایه تخت تحت تأثیر رفتار خمشی مسلط بوده و اعضای آنها عمدتاً لنگر خمشی حول محورهای واقع در درون صفحه، نیروی برشی (در امتداد عمود بر صفحه شبکه) و گشتاور پیچشی (حول محور درون صفحه) را تجربه می‌نمایند، حال آنکه نیروهای داخلی اعضا در شبکه‌های دو و چندلایه عمدتاً از نوع نیروهای محوری هستند.

شبکه‌های دو گونه

از گروه‌هایی از شبکه‌های دو گونه به طور متداول بهره‌گیری گسترده به عمل آمده است:

- شبکه‌های تخت بتن‌آرمه یکپارچه با دال فوقانی یا شبکه متقاطع فولادی مختلط با بتن درجای فوقانی.
- نمونه‌های متنوعی از شبکه‌های دو یا چندلایه فولادی ساخته شده که لایه رویین آنها در دال بتنی محصور یا اصولاً دال بتنی نقش لایه رویین را ایفا می‌نماید.
- همچنین حالات گوناگونی از شبکه‌های دو یا چندلایه با رفتار توأم با اجزا و عناصر غشایی - پوسته‌ای متصور است. سازه‌های فضاکار دو گونه‌ای که از شبکه‌های متشکل از اعضای منفصل با عملکرد توأم با دال‌ها و پوسته‌های بتنی مسلح تشکیل گردیده‌اند، به طور متداول به سازه‌های فضاکار مختلط موسومند. گردیده‌اند. همچنین سازه‌های فضاکار مشبکی را که با اجزای غشایی به صورت در هم آمیخته عمل می‌نمایند، سازه‌های فضاکار دوگانه می‌نامند.
- لازمه آنکه سازه فضاکار از نوع دوگانه باشد، عملکرد لاینفک اجزای منفصل با اجزای پیوسته از دیدگاه سازه‌ای می‌باشد.

سازه‌های فضاکار چلیکی

یک چلیک از تبدیل یک شبکه تک‌لایه، دولایه یا چندلایه به فرم قوسی در یک جهت ایجاد می‌گردد و حاصل آن تشکیل تاشه چلیکی یک، دو یا چندلایه خواهد بود. سازه‌های فضاکار چلیکی گونه‌های هم‌بندی متنوعی دارند که از هر یک بسته به ویژگی‌های رفتاری در مقام مناسب، می‌توان بهره‌گیری نمود. مقطع عمومی یک سازه چلیکی ممکن است بخشی از دایره، بیضی یا سهمی باشد.

گنبدها

گنبد مشبک، یک سیستم سازه فضاکار است که شامل یک یا چند لایه (از اجزا) می‌باشد که در تمامی جهات به فرم قوسی در آمده‌اند. برخی از گنبدها دارای رویه‌ای ظاهری هستند که بخشی از یک سطح منفرد و واحد همانند کره را تشکیل می‌دهد و برخی دیگر متشکل از مجموعه‌ای از سطوح گنبدی شکل متفاوت می‌باشند.

در صورتی که الگوی یک شبکه تخت را بر سطحی منحنی تصویر نموده و تطابق دهیم، گنبد شبکه گونه تک‌لایه ایجاد می‌گردد. در این نوع گنبدها باید دقت کافی برای حصول اطمینان از مقاومت مکفی خمشی- برشی علاوه بر مقاومت در مقابل نیروهای محوری و ممانعت از بروز پدیده فروجهش به عمل آید. با توجه به نسبت خیز به دهانه، اتصالات گنبدهای تک‌لایه مشبک را باید چنان طراحی نمود که صلبیت به میزان مورد نظر تأمین گردد.

سازه‌های فضاکار مشبک دوگونه چلیکی و گنبدی

سازه فضاکار گنبدی و چلیکی مختلط متشکل است از یک شبکه فلزی همراه با یک پوسته بتن آرمه در گیر شده که به منظور عملکرد توأم و تفکیک‌ناپذیر باشکته فلزی طراحی شده است.

سازه فضاکار گنبدی و چلیکی دوگانه، شامل یک شبکه فلزی باربر و اجزای غشایی فعال با عملکرد توأم سازه‌ای می‌باشد.

سایر تاشه‌ها

انواع سازه‌های فضاکار مورد اشاره سهم قابل ملاحظه‌ای از حالات کاربردی را در بر می‌گیرند و پاسخگوی بسیاری از نیازها می‌باشند. از جمله سایر کاربردهای سازه‌های فضاکار می‌توان از برج‌های مشبک، سازه‌های هرمی شکل، تاشه‌های سهموی، سازه‌های غشای نازک و شبکه‌های کابلی با فرم‌های بدیع و گوناگون نام برد.

کاربردهای نوین سازه‌های فضاکار شبکه‌ای

در کاربرد سازه‌های فضاکار شبکه‌ای به‌نظر نمی‌رسد محدودیتی وجود داشته باشد و از این سازه‌ها تاکنون در کاربری‌های گوناگونی بهره‌گیری شده است. طبعاً استفاده بجا از سازه‌های فضاکار شبکه‌ای به معنی آن‌است که در کاربری موردنظر، از جمیع جهات و پس از مقایسه گزینه‌های سازه فضاکار شبکه‌ای با گزینه‌های انواع دیگر سیستم‌های سازه‌ای و بررسی مزایا و معایب گزینه‌ها از دیدگاه فنی و اقتصادی و سایر جنبه‌های ذیربط، گزینه‌های سازه فضاکار شبکه‌ای به‌عنوان گزینه یا گزینه‌های برتر انتخاب شده باشد.

با توجه به سبکی وزن، صلبیت قابل ملاحظه و عملکرد سه بعدی سیستم‌های سازه‌ای فضاکار، امکان احداث سازه‌های پوشش فضاهای سرپوشیده‌ای که در آن عملکرد معماری دهانه‌های آزاد نسبتاً طولی را در دو امتداد متعامد ایجاب می‌نماید، به نحوه مطلوبی فراهم گردیده است. در عین حال، در صورتی که فرم به نحو شایسته در خدمت محتوای سازه‌ای قرار گیرد، کاربرد این سازه‌ها در بسیاری دیگر از پروژه‌های متنوعی که تاکنون کمتر در احداث آنها از سازه‌های فضاکار شبکه‌ای بهره‌گیری شده است، واجد مزایای غیرقابل انکاری خواهد بود.

از جمله، بهره‌گیری از سازه‌های فضاکار شبکه‌ای پیش‌ساخته در احداث و تولید انبوه سازه‌های مسکونی، اداری و تجاری سریع‌الانصب و با دهانه‌های آزاد نسبتاً قابل ملاحظه، بازسازی بافت‌های دارای ارزش تاریخی - فرهنگی، سکوه‌های دریایی، سازه‌های صنعتی و برج‌های انتقال نیرو و سازه‌های متنوع دیگر، به دلایل عدیده، زمینه‌های کاربرد نوین سازه‌های فضاکار شبکه‌ای را به میزان گسترده‌تر میسر خواهد ساخت. درحال حاضر دبیر کمیته تدوین در تمامی موارد کاربرد سازه‌های فضاکار مذکور در فوق پژوهش‌های نظری و آزمایشگاهی انجام داده یا در دست انجام دارد که امید است در آتیه نزدیک کاربرد عملی گسترده سازه‌های فضاکار در این زمینه‌ها نیز فراهم گردد.

همچنین سازه فضاکار به دلیل صرفه‌جویی در میزان فولاد و مصالح مصرفی، گامی در جهت کاهش تخریب در منابع موجود در کره خاکی و محیط زیست به‌شمار می‌رود.

هدف از تدوین آیین‌نامه

با توجه به مواردی که در ارتباط با توجیه ضرورت و دلایل تدوین آیین‌نامه ذکر گردید و با در نظر گرفتن جمیع جهات، پس از رایه نظریات تمامی اعضای محترم کمیته تدوین، جمع‌بندی ذیل به عنوان هدف از تدوین آیین‌نامه به تایید کمیته تدوین رسید:

هدف از تدوین آیین‌نامه، تعیین ضوابط مکفی برای طراحی، اجرا و نگهداری سازه‌های فضاکار مشمول این آیین‌نامه می‌باشد، به نحوی که حداقل شرایط لازم برای بهره‌برداری ایمن را با رعایت جنبه‌ها و ملاحظات اقتصادی در برگیرد.

حوزه فراگیری

با توجه به توضیحات و تعاریف مورد اشاره، پس از بحث و تبادل نظر، حوزه فراگیری آیین‌نامه در مرحله دوم (مرحله تدوین آیین‌نامه) با توجه به اولویت‌ها به شرح زیر مورد تصویب کمیته تدوین قرار گرفت:

حوزه فراگیری آیین‌نامه شامل سازه‌های فضاکار مشبک فولادی تخت یا دارای انحنا، اعم از تک‌لایه یا چندلایه از خانواده شبکه‌ها، چلیک‌ها و گنبد‌ها می‌باشد.

دلایل عمده اولویت‌بندی این حوزه فراگیری عبارت‌اند از:

- سازه‌های فضاکار مشمول حوزه فراگیری متداول‌ترین انواع سازه‌های فضاکار و دارای بیشترین کاربرد در خارج و داخل کشور بوده‌اند.

- این سازه‌ها پاسخگوی اغلب نیازهای کاربردی می‌باشند و سهم عمده‌ای از سازه‌های فضاکار را به خود اختصاص داده‌اند.

- این سازه‌ها علاوه بر امکان ساخت درجا، در خور تولید انبوه صنعتی بوده و به این ترتیب، با طراحی و ساخت مدولار و مزایای غیرقابل انکار آن هماهنگی دارند و امکان تلفیق ملزومات فنی، مهندسی و ایمنی و دیدگاه‌های زیبا شناختی و جنبه‌های اقتصادی را فراهم می‌سازند.

- گرچه سازه‌های فضاکار آلومینیومی، چوبی و غیره در سطح جهانی به تعداد قابل توجهی ساخته شده‌اند، لیکن سهم فولاد سازه‌ای تاکنون به عنوان مصالح سازه‌های فضاکار مشبک بلامنازع بوده و انتظار می‌رود که در آینده دراز مدتی نیز این چنین

باشد. در ایران نیز استفادهٔ انبوه از چوب میسر نبوده و تولید مقاطع آلومینیومی برای کاربرد سازه‌ای نیز در داخل کشور تحقق نیافته و در سطح تولید انبوه امکان تهیه و ساخت مقاطع لوله‌ای آلومینیومی در کشور مهیا نگردیده است. آنچه تا کنون به عنوان سازه‌های فضاکار مدرن پیش‌ساخته یا ساخت درجا در داخل کشور احداث گردیده است، از نوع مصالح فولادی بوده و انتظار نمی‌رود که جایگزین دیگری برای فولاد در آئیهٔ نزدیک در داخل کشور متصور باشد.

بنابراین در تعیین حوزهٔ فراگیری، در پردازش موضوعی و تدوین آیین‌نامه به سازه‌های فضاکار مشبک فولادی اولویت داده شده است؛ زیرا تدوین ضوابط طراحی، ساخت، نگهداری و بهره‌برداری آنها با توجه به میزان قابل ملاحظهٔ سازه‌های فضاکار مشبک احداث شده و در دست احداث در سطح بین‌المللی و همچنین این واقعیت که سازه‌های فضاکار احداث شده و در دست احداث در داخل کشور عمدتاً محدود به این نوع از سازه‌ها بوده‌اند و گسترش استفاده از آنها طی سال‌های آینده در کشور و در جهان قابل پیش‌بینی است، امری اضطراری تلقی می‌گردد.

لازم به یادآوری است که حوزهٔ فراگیری به شرح فوق در چارچوب مرحلهٔ دوم کار، سازه‌های فضاکار دوگونه (مختلط و دوگان) به صورت ذکر شده در بالا را شامل نمی‌گردد و امید است پس از تدوین آیین‌نامه با حوزهٔ فراگیری تعیین شده، در مراحل گسترش آتی به این موارد نیز پرداخته شود.

یادآوری این نکته نیز ضروری به نظر می‌رسد که اگرچه سازه‌های مشبک برجی شکل برای کاربردهای نظیر دکل‌های انتقال نیرو، دکل‌های مخابراتی، سازه‌های مشبک مورد استفاده برای مخابرات ماهواره‌ای، برج‌های خنک کن و نظایر آن‌ها در بسیاری از موارد در کلیات و جزییات، به ویژه در زمینهٔ طراحی اعضا، اجزا و پیوندها دارای زمینه‌های مشترکی با سازه‌های مشمول حوزهٔ فراگیری مصوب کمیتهٔ تدوین می‌باشند، ولی مقرر گردید در نسخه پیش‌روی آیین‌نامه که تدوین آن در مرحلهٔ دوم کار برنامه‌ریزی گردیده است، به موارد خاص این نوع از سازه‌ها، از جمله بارگذاری آنها مبادرت نشده و این امر نیز به مراحل بعدی گسترش آیین‌نامه موکول شود.

ساختار، پیکربندی و آرایهٔ کلی آیین‌نامه

پیکربندی اولیه آیین‌نامهٔ سازه‌های فضاکار در مرحله اول مطالعات نشان می‌دهد که آیین‌نامه شامل پنج بخش به شرح زیر خواهد بود که هر بخش مشتمل بر فصول اصلی است.

بخش اول: کلیات

بخش دوم: طراحی

بخش سوم: اجرا

بخش چهارم: بهره‌برداری و نگهداری

بخش پنجم: مستندسازی

در تدوین آیین‌نامه، ضابطه‌های زیر مراعات خواهند گردید:

- هر بخش با یک پیش‌گفتار کوتاه شروع و در ادامه فصول آن بخش آرایه خواهند شد.

- هر فصل بسته به نیاز دارای سرفصل‌هایی مانند کلیات، مقدمه و تعاریف خواهد بود و متعاقباً سرفصل‌ها، فصل‌های فرعی و مباحث زیر مجموعه فصل‌ها ارائه خواهند گردید.
- کوشش به عمل خواهد آمد تا هماهنگی آیین‌نامه با سایر آیین‌نامه‌های معتبر جهانی و ملی برقرار گردد و از نظر آرایه با آیین‌نامه‌های جاری ملی در تطابق کلی باشد.
- تعاریف عمومی، واژه‌نامه و نمادها به صورت مستقل از بخش‌ها ارائه خواهند گردید و هماهنگی جهت بهره‌گیری هماهنگ و سازگار از واژه‌ها و تعاریف صورت خواهد گرفت. همچنین از طریق ساز و کارهای هماهنگی، ویرایش، داوری، اصلاح و تجدیدنظر، کوشش به عمل خواهد آمد که تناقض بین تعاریف و واژه‌ها و اصطلاحات به کار برده شده در فصول متفاوت که پیش‌نویس آنها توسط متخصصین متفاوت تهیه خواهد شد، وجود نداشته باشد.
- تدوین متن نهایی پس از تکمیل پیش‌نویس‌های هماهنگ‌شده، مجدداً به منظور یک‌دست بودن انشا صورت خواهد گرفت.
- قبل از شروع به تدوین پیش‌نویس‌ها، راهنمای استاندارد نحوه تهیه و تنظیم پیش‌نویس، شامل اطلاعات کافی در زمینه آرایه و صفحه‌بندی و قلم‌های مورد استفاده، به مسؤولین تهیه پیش‌نویس‌ها ارائه خواهد شد.
- طرح روی جلد متن فارسی آیین‌نامه در هماهنگی با سایر آیین‌نامه‌های ملی تهیه خواهد شد.
- تمامی بخش‌ها دارای فهرست موضوعی خواهند بود.
- کوشش به عمل خواهد آمد که نحوه آرایه و آرایه آیین‌نامه تا حد امکان با صورت ظاهری دلپذیر و جاذب طراحی گردد.
- همچنین متن آیین‌نامه و مجموعه‌های جنبی آن، به دو صورت چاپ شده به صورت کتاب و همچنین به صورت الکترونیکی تهیه خواهد گردید.
- به‌علاوه یک قسمت مجزا تحت عنوان ضوابط پذیرش سیستم‌های تجاری نیز پیش‌بینی شده است که در چارچوب فلسفه حاکم بر مجموعه فرایند و براساس ضوابط مندرج در آیین‌نامه تهیه و تدوین خواهد شد.

سرفصل‌های کلی و جزئی

طی جلسات کمیته تدوین، بحث و تبادل نظر مبسوطی در زمینه چارچوب‌های اصلی (بخش‌ها) و فصل‌های اصلی و زیرفصل‌ها به عمل آمد. پس از تصویب پیکربندی اصلی، در ارتباط با هر بخش، نظریات اعضای محترم کمیته تدوین ثبت و بر اساس جمیع نظریات که خوشبختانه متفرق نبوده و به سرعت همگرا می‌شدند، فصول و سرفصل‌های مربوط به آن بخش توسط دبیر کمیته تدوین به اعضای محترم ارسال می‌شد و در جلسه بعدی کمیته تدوین مورد بحث و تبادل نظر مجدد قرار می‌گرفت و اصلاحات لازم مطرح، و در صورت تأیید کمیته اعمال و متعاقباً مورد تصویب قرار می‌گرفت و اصلاحات مزبور توسط دبیر کمیته در فهرست سرفصل‌ها اعمال می‌گردید. طبعاً تدوین سرفصل‌ها و میزان جزییات و دامنه کار با در نظر گرفتن فلسفه حاکم در چارچوب اهداف تدوین و حوزه فراگیری به عمل آمده است. علاوه بر این، در بسیاری از موارد، سرفصل‌ها در کمیته‌های تخصصی نیز مورد توجه، بازنگری و اصلاح و تجدید نظر قرار داده می‌شد و جهت تصویب به کمیته تدوین برگشت داده می‌شد. به ویژه در ارتباط با بخش طراحی، کمیته‌های تخصصی جلسات مبسوطی تشکیل داده در نهایت به چارچوب مناسب و قابل دفاعی دستیابی حاصل گردید. جمع‌بندی نظریات و

مصوبات به صورت سرفصل‌های کلی و جزئی مصوب کمیته تدوین پس از اعمال هماهنگی‌های لازم توسط کمیته تخصصی برای اعضای محترم کمیته تدوین ارسال و متعاقباً نظریات دریافت‌شده و منعکس‌شده اعضای محترم در جلسات بعدی مورد بحث قرار داده می‌شد و نتایج در نسخه نهایی شده مصوب بازتاب می‌یافت و پس از تصویب در کمیته اصلی به وسیله دبیر کمیته تنظیم و به تمامی اعضای گرامی ارسال و متعاقب آن نظر دیگری مبنی بر وجود اشکالی در مجموعه سرفصل‌ها دریافت نگردید.

به طوری که از مطالعه اجمالی فهرست موضوعی سرفصل‌ها مشخص می‌گردد، مجموعه پیش‌بینی شده برای آیین‌نامه مبتنی بر چارچوب و ساختار منسجمی است و سرفصل‌های موضوعی مربوط با توجه به ضروریات مطالب و با شناخت مباحث لازم در آیین‌نامه، در این چارچوب به صورت تفصیلی ارائه شده‌اند و شامل فهرست‌های موضوعی کلی و جزئی تفصیلی می‌باشند که مبتنی بر فلسفه عمومی حاکم بر کار بوده است و اگرچه برای تدوین آن، زمان نسبتاً زیادی برای تبادل نظر و تهیه پیش‌نویس و بازنگری و بازتاب نظریات و تهیه متن نهایی و تصویب اختصاص یافت، در مراحل بعدی کار که شامل تفکیک موضوعی سرفصل‌ها به بخش‌های تخصصی جهت تهیه پیش‌نویس بود و همچنین در تهیه پیش‌نویس به طور مؤثری تسهیل و تسریع گردید.

فهرست موضوعی سرفصل‌ها در ۲۹ صفحه تدوین شد با فصل‌بندی متن نهایی به طور قابل قبولی همسازي داشته‌اند. در مرحله اول مطالعات سرفصل‌های موضوعی، کلی و جزئی به صورت تفصیلی تعیین و ارائه گردیدند. با توجه به مباحثات مبسوطی که در این زمینه در مرحله تدوین به عمل آمد، تغییرات نسبتاً جزئی در سرفصل‌ها در حین تدوین پیش‌نویس‌ها صورت گرفت، ولی چارچوب اصلی مبتنی بر فلسفه و اهداف کار به نحو ارائه شده در مطالعات مرحله اول حفظ گردید. این امر حاکی از اهمیت مطالعات مرحله اول و کیفیت مطالعات مزبور قلمداد می‌گردد که منتج به آن گردید که نیازی به تغییر ساختار یا اعمال تغییرات گسترده در مرحله تدوین متن آیین‌نامه پیش نیامد. به عبارت دیگر، با کوشش‌های به عمل آمده در مرحله اول همان‌گونه که انتظار می‌رفت نیاز به چنین تغییراتی ناچیز و تقریباً منتفی بود.

به طوری که ملاحظه می‌شود، لازمه تدوین سرفصل‌های موضوعی تفصیلی شناسایی کامل اهداف، دیدگاه‌ها، حوزه فراگیری و فلسفه کار بوده است و خوشبختانه این سرفصل‌ها نشانگر تسلط کامل کمیته محترم تدوین بر این دیدگاه‌ها بوده و منتج به آن گردید که آیین‌نامه‌ای با پشتیبانی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور وقت و توسط اساتید گرانمایه کمیته تدوین و متخصصان دیگر تدوین گردید، از جامعیت لازم در چارچوب حوزه فراگیری مورد نظر برخوردار گردد.

تفکیک موضوعی سرفصل‌ها برحسب زمینه‌های تخصصی

بر اساس فهرست موضوعات کلی و جزئی و در چارچوب پیکربندی پیش‌بینی‌شده، موضوعات سرفصل‌ها به شرح مندرج در صفحه بعد به تفکیک با توجه به زمینه‌های تخصصی ارائه شده‌اند. به عنوان نمونه، زمینه‌های تخصصی زیر به صورت زیرمجموعه سرفصل‌های کلی‌تر قابل تفکیک می‌باشند:

- طراحی مجموعه، اعضا و پیوندها
- تحلیل
- پایداری
- رفتار دینامیکی و لرزه‌ای
- بارگذاری و رفتار تحت اثر باد

- بارگذاری و رفتار تحت تاثیر زلزله
- بارگذاری برف
- سایر آثار و عوامل
- بهینه‌یابی
- قابلیت اعتماد
- کنترل کیفیت
- مصالح فولادی
- ریخت‌شناسی
- سیستم‌های سازه‌ای
- تولید سیستم‌های پیش‌ساخته (ساخت)
- بافت و نصب
- مدیریت کیفیت
- بهره‌برداری
- نگهداری
- مستندسازی

زمینه‌های تخصصی در کمیته‌های تخصصی مورد بحث قرار گرفتند و پس از انتخاب قطعی مسؤولین تهیه‌ی پیش‌نویس هر فصل و تقبل مسؤولیت ایشان، به مسؤولین پیش‌نویس‌های سرفصل‌ها توصیه شد که از متخصصان زمینه‌های تخصصی مربوط به زیر مجموعه سرفصل‌ها در تدوین پیش‌نویس بهره‌گیری نمایند.

سرفصل‌های کلی

بخش اول: کلیات

فصل اول: کلیات

بخش دوم: طراحی

فصل دوم: مبانی طراحی

فصل سوم: عوامل و بارهای مؤثر (به تفکیک شامل):

- ۱- کلیات و ترکیب بارها و بارگذاری به جز موارد زیر:
- ۲- زلزله
- ۳- باد
- ۴- بارهای دینامیکی ناشی از ضربه، انفجار، حرکت جراثقال و...
- ۵- برف
- ۶- تأثیر تغییرات دما
- ۷- اثر نامیزانی

فصل چهارم: طراحی مجموعه سازه‌ها:

- ۱- سیستم‌های سازه‌های فضاکار
- ۲- شیوه‌های ساخت، بافت و نصب

۳- معیارهای طراحی

۴- مصالح

۵- طراحی اولیه

۶- شیوه اعمال بارها

۷- اعضای سازه‌ای

۸- پیوندها، اتصالات و تکیه‌گاه‌ها

۹- اجزا و پوشاننده‌های غیرسازه‌ای

فصل پنجم: تحلیل

فصل ششم: طراحی اعضا، اتصالات و تکیه‌گاه‌ها

فصل هفتم: طراحی مبتنی بر آزمایش

بخش سوم: اجرا

فصل هشتم: رواداری‌ها

فصل نهم: ضوابط ساخت

فصل دهم: ضوابط بافت و نصب

فصل یازدهم: مدیریت کیفیت

بخش چهارم: بهره‌برداری و نگهداری

فصل دوازدهم: ضوابط بهره‌برداری

فصل سیزدهم: ضوابط نگهداری

بخش پنجم: مستندسازی

فصل چهاردهم: مستندسازی مدارک طراحی

فصل پانزدهم: مستندسازی مدارک اجرا

فصل شانزدهم: مستندسازی مدارک بهره‌برداری و نگهداری

فصل هفدهم: اصول بایگانی مدارک فنی

تعاریف، واژه‌نامه، نمادها

اولویت‌بندی مراحل تدوین آیین‌نامه

در ارتباط با مطالعات مربوط به تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار لازم است برنامه‌ریزی‌های کوتاه مدت، میان مدت و دراز مدت در چارچوب برنامه‌ریزی‌های کلان تحقیقات و تدوین آیین‌نامه‌ها به عمل آید. در برنامه‌ریزی راهبردی پس از تبیین اهداف و تجسم چشم‌اندازها، با بررسی تمامی امکانات، اهداف قابل حصول تعیین می‌گردند. از اینرو همواره در تدوین برنامه و تخصیص منابع لازم است اولویت‌بندی به نحو منطقی صورت گیرد.

براساس پیشنهادهای گروه‌های کار، مطالعات و بررسی‌های متمرکز توسط دبیر کمیته و شناخت نیروهای متخصص همکار و امکانات کار هم‌زمان روی سرفصل‌های متفاوت، امکانات قابل حصول و همچنین نتایج حاصل از جلسات برگزار شده با مسئولان محترم سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و تصویب کمیته تدوین طی آخرین جلسه مرحله مقدماتی (مرحله اول)، مقرر گردید که

اولویت در تدوین آیین‌نامه به بخش اول و دوم: **کلیات و طراحی** داده شود. به این ترتیب نکات زیر در این مقوله قابل ذکر بوده و مزایای زیر بر این امر مترتب خواهد بود:

- اگرچه بخش‌های طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری دارای پیامدها و آثار متقابل فراوانی می‌باشند، ولی کوشش به عمل آمده است که این آثار در تعیین فهرست تفصیلی موضوعات کلی و جزئی مورد توجه قرار داده شوند و تصویری از آنچه ذیل هر سرفصل و زیرفصل باید به آنها پرداخت، قبل از افزودن آن به فهرست موضوعات در اذهان اعضای کمیته مجسم شده باشد. از اینرو به نظر می‌رسد می‌توان بخش کلیات و طراحی را بدون رویارویی با خطر زیاد از نظر تداخل و آثار متقابل منجر به تغییرات اساسی، تدوین نمود.
- در برنامه اولیه‌ای که براساس نیروی متخصص و علاقمند قابل دسترس برای تدوین پیش‌نویس‌ها و شرکت در جلسات کمیته‌های اصلی و تخصصی آیین‌نامه توسط دبیر کمیته تدوین شد، عملاً قسمت ابتدایی کار به کلیات و طراحی اختصاص یافته بود و بخش‌های اجرا، بهره‌برداری و نگهداری و مستندسازی پس از تکمیل پیش‌نویس اولیه و ویرایش و اصلاح بخش طراحی صورت می‌پذیرفت. این امر خود حاکی از کمبود اعضای متخصص برای کار هم‌زمان در کلیه فصول و بخش‌ها و محدودیت میزان پیشرفت عملی و قابل حصول در زمینه تأیید پیش‌نویس‌ها از طرف کمیته‌های تخصصی اصلی بود. بنابراین، در صورت تفکیک بخش طراحی از سایر بخش‌ها تأثیر مستقیمی بر روند کلی کار احساس نمی‌شد.
- اگرچه در برنامه‌ریزی اولیه، باز خور مطالعات در مرحله تدوین بخش‌های اجرا، بهره‌برداری، نگهداری و مستندسازی بر بخش کلیات و طراحی و اصلاحات ناشی از آن در خاتمه کار پیش‌بینی شده بود، ولی انتظار نمی‌رفت این امر تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر نتیجه کار بخش طراحی- در صورت تدوین تفکیک شده - داشته باشد که تعویق ارایه این بخش تا تکمیل کلیه بخش‌ها قابل توجیه باشد.
- با تفکیک بخش‌های کلیات و طراحی، ارایه قسمت مستقلی از کار در مدت کوتاه‌تری میسر می‌گردد. این امر چه از نظر کارفرمای محترم، چه از دیدگاه افزایش انگیزه اساتید و متخصصان همکار به جهت ارایه سریع‌تر حاصل زحمات و مطالعاتشان به جامعه مهندسی کشور و هم از نظر رفع سریع‌تر نیازهای ملموس و فوری مهندسان و دست‌اندرکاران طراحی سازه‌های فضاکار، تصمیمی منطقی و قابل دفاع به نظر می‌رسد. با تمرکز روی بخش عمده کار (طراحی) این امکان حاصل خواهد شد که در زمانی معقول دستاوردی از این مطالعات حاصل گردد که به طور مستقل قابل عرضه به جامعه مهندسين در سطح ملی و بین‌المللی باشد و آثار احتمالی اصلاحات و هماهنگی‌های ناشی از مراحل تدوین بخش‌های بعدی را می‌توان در تجدید نظرهای بعدی، هم‌زمان با تکمیل سایر بخش‌ها ارایه نمود.

از اینرو اولویت‌بندی در واقع به طور ضمنی و همچنین مستقیم در دو مرحله صورت گرفته است:

الف- در انتخاب حوزه فراگیری و دامنه کار (که به طور ضمنی در آن اولویت به سازه‌های فضاکار مشبک فولادی داده شده است)،

ب- در تدوین بخش‌های اول و دوم (کلیات و طراحی سازه‌های فضاکار) که به طور مستقیم از میان مجموعه بخش‌های تصویب‌شده در سرفصل‌های کلی و جزئی موضوعی، حایز اولویت شناخته شده است.

در اولویت‌های بعدی، تهیه متن انگلیسی برای بخش‌های اول و دوم، تکمیل بخش‌های سوم تا پنجم (اجرا، بهره‌برداری و نگهداری و مستندسازی) برای سازه‌های فضاکار مشبک فولادی و متعاقباً برای انواع دیگر سازه‌ها و تحقیقات جنبی لازم در برنامه‌ریزی‌های میان مدت و دراز مدت مورد توجه قرار داده خواهد شد.

نمادها

| | |
|---|---|
| A_d | مقدار طراحی کنش تصادفی |
| A_k | مقدار مشخصه کنش تصادفی |
| C_e | ضریب بادگیری |
| C_{eo} | ضریب C_e برای منطقه باز |
| C_{er} | ضریب C_e برای منطقه ناهموار |
| C_g | ضریب تندباد |
| C_{gi} | ضریب اثر تند باد درونی |
| C_P | ضریب فشار بیرونی میانگین گیری شده در سطح مورد نظر |
| C_{pi} | ضریب فشار درونی |
| E , Effect of action | اثر ناشی از کنش |
| $E_{d,dst}$ | آثار ناشی از کنش های ناپایدار کننده |
| $E_{d,stab}$ | آثار ناشی از عوامل پایدار کننده |
| F_d , Design value of an action | مقادیر طراحی کنش |
| F_k | مقدار مشخصه کنش |
| F_{rep} , Representative value of an action | مقادیر معرف کنش |
| G , Permanent action | کنش دائمی |
| G_d | مقدار طراحی کنش دائمی |
| $G_{d,inf}$ | مقدار کرانه پایینی کنش دائمی |
| $G_{d,sup}$ | مقدار کرانه بالایی کنش دائمی |
| G_k | مقدار مشخصه کنش دائمی |
| $G_{k,inf}$ | مقدار مشخصه کرانه پایینی کنش دائمی |
| $G_{k,sup}$ | مقدار مشخصه کرانه بالایی کنش دائمی |
| I_W | ضریب اهمیت ساختمان |
| N | دوره بازگشت بر حسب سال |
| P | فشار بیرونی که به صورت استاتیکی و عمود بر سطح وارد می شود که می تواند به صورت فشار وارده بر سطح یا مکش در جهت خارج از سطح باشد. |
| P_i | فشار درونی که به صورت استاتیکی و عمود بر سطح وارد می شود که می تواند به صورت فشار به طرف سطح یا مکش به سمت خارج از سطح باشد. |
| Q , Variable action | کنش متغیر |
| Q_d | مقدار طراحی کنش متغیر |
| Q_i | آثار ناشی از اعمال کنش i ام بر سازه |
| Q_k | مقدار مشخصه کنش متغیر |
| Q_m | مقدار متوسط Q |
| Q_n | مقدار اسمی Q |
| R_d | مقدار ظرفیت طراحی |
| R_m | مقدار متوسط R |

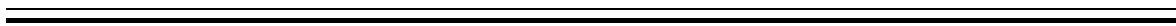
| | |
|---|---|
| R_n | مقاومت اسمی |
| S_d | مقدار تقاضای طراحی |
| W_i | عرض مورد نظر عمود بر جهت وزش باد در تراز h_i |
| $X_d \leq R_d$, Design value of a material property | مقدار طراحی پارامتر مصالح |
| $X_k \leq R_k$, Characteristic value | مقدار مشخصه پارامتر مصالح |
| X_{nom} یا R_{nom} , Nominal value of a material property | مقدار اسمی پارامتر مصالح |
| a_{nom} | مقادیر اسمی کمیت‌های هندسی |
| d | نسبت ضریب میرایی به ضریب میرایی بحرانی |
| h | ارتفاع مرجع |
| h_i | ارتفاع بالایی تراز طبقه i ام |
| q | فشار متناظر با سرعت مینا |
| r | نسبت فرکانس بار اعمالی به فرکانس ارتعاش طبیعی سازه |
| x_r | طول ناهمواری بالادست سازه |
| Δ_a | کمیت نمایشگر آثار ناشی از نابه‌جایی‌ها، انحراف تجمعی و رواداری‌ها |
| α_d , Design value of a geometrical property | مقدار طراحی پارامتر هندسی |
| α_k , Characteristic value of a geometrical property | مقدار مشخصه پارامتر هندسی |
| β | شاخص قابلیت اطمینان |
| γ_A | ضریب کنش تصادفی |
| γ_F | ضریب پاره‌ای کنش |
| γ_f | ضریب پاره‌ای کنش |
| γ_i | ضریب بار پاره‌ای کنش i ام |
| γ_{0i} | ضریب بار ترکیبی در بررسی حالات حدی نهایی و حالات حدی بهره‌برداری برگشت ناپذیر |
| γ_{1i} | ضریب بار تناوبی در بررسی حالات حدی نهایی تحت تاثیر کنش‌های تصادفی و حالات بهره‌برداری برگشت‌ناپذیر ناشی از بارهای متناوب |
| γ_{2i} | ضریب بار شبه‌دائمی برای حالات حدی نهایی تحت اثر کنش‌های تصادفی و حالات حدی بهره‌برداری برگشت‌پذیر، آنگاه که نسبت بازه زمانی احتمال تجاوز مقدار بار به بازه زمانی مینا از ۵۰٪ تجاوز نماید. |
| γ_m | ضریب پاره‌ای خواص مصالح |
| γ_p | ضریب نمایشگر آثار نابه‌جایی کنش‌ها |
| γ_Q | ضریب کنش متغیر |
| $\bar{\sigma}_Q$ | انحراف معیار متناظر با تابع توزیع Q |
| $\bar{\sigma}_R$ | انحراف معیار متناظر با تابع توزیع R |
| $\bar{\sigma}_{(R-Q)}$ | انحراف معیار تابع توزیع $R-Q$ |
| η | مقدار میانگین ضریب تبدیل اصلاحی مصالح |
| η_D | ضریب ارایه دهنده میزان اهمیت سازه |

| | |
|--|---|
| η_I | ضریب ارایه‌دهنده نسبت شکل‌پذیری |
| η_R | ضریب ارایه‌دهنده درجه نامعینی سازه |
| φ | ضریب مقاومت مربوط |
| φR_n | مقاومت طراحی |
| λ | نسبت مقادیر مقاومت متوسط به مقاومت اسمی |
| ψ_0 | ضریب Q_k در ترکیب بار |
| ψ_1 | ضریب Q_k در حالات احتمال وقوع زیاد |
| ψ_2 | ضریب Q_k در حالات بار شبه دائمی |
| ψ_i | ضریب کنش متغیر i ام |
| ψ_{Q_k} , Accompanying value of a variable action | مقدار مؤثر کنش متغیر |
| ψ_{0Q_k} , Combination value of a variable action | مقدار ترکیبی کنش متغیر |
| ψ_{1Q_k} , Frequent value of a variable action | مقدار پر تواتر کنش متغیر |
| ψ_{2Q_k} , Quasi-permanent value of a variable action | مقدار شبه دائمی کنش متغیر |

بخش یک

کلیات

۱



کلیات

۱-۱-۱- مقدمه

۱-۱-۱- اهداف

هدف از تدوین این آیین‌نامه تعیین حداقل ضوابط و معیارهای لازم برای تحلیل، طراحی، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری سازه‌های فضاکار شبکه‌ای مشمول این آیین‌نامه می‌باشد؛ به نحوی که شرایط لازم برای بهره‌برداری ایمن و با دوام سازه را متناسب با عملکرد مورد نظر در سطح اطمینان تعریف‌شده، تحت تأثیر کنش‌ها، با رعایت جنبه‌ها و ملاحظات اقتصادی، بر اساس دانش روز تأمین نماید.

در تدوین این آیین‌نامه فرض بر آن است که:

- انتخاب سیستم سازه و طراحی آن توسط کارشناسان ذیصلاح و مجرب انجام می‌گیرد.
- عملیات اجرایی پروژه توسط مجریان ذیصلاح و گروه‌های حایز مهارت‌های فنی و تجارب لازم صورت می‌پذیرد.
- نظارت و کنترل کیفیت در تمامی مراحل طرح و اجرا، شامل مطالعات توجیهی و امکان‌سنجی، بررسی گزینه‌ها و انتخاب گزینه برتر، مدل‌سازی سازه و کنش‌های مؤثر، تحلیل و طراحی، ارزیابی فنی و اقتصادی، تدوین مشخصات فنی عملیات ساخت کارخانه‌ای یا کارگاهی و عملیات نصب یا ساخت درجا و همچنین بهره‌برداری و نگهداری به‌نحوی شایسته اعمال می‌گردد.
- مصالح و تولیدات ساختمانی دارای مشخصات تعیین‌شده در این آیین‌نامه می‌باشند و یا براساس استانداردهایی تولید شده‌اند که در این آیین‌نامه به آن‌ها ارجاع شده است.
- سازه به نحو تعیین شده در مشخصات فنی نگهداری پروژه، نگهداری خواهد شد.
- نحوه بهره‌برداری از سازه با فرضیات طراحی در ارتباط با کاربری، سازگار خواهد بود.
- از این رو روش‌های طراحی ارائه‌شده در این آیین‌نامه در صورتی معتبر می‌باشند که شروط لازم برای مصالح، عملیات اجرایی و مهارت‌های مورد نیاز در طرح و ساخت تأمین شده باشد.

۱-۱-۲- تعاریف

سازه‌های فضاکار به آن دسته از سازه‌ها اطلاق می‌شوند که ماهیتاً دارای رفتار و عملکرد مسلط سه بعدی می‌باشند، به نحوی که اثر هیچ‌یک از سه بعد در رفتار سازه تحت تأثیر کنش‌های وارده قابل صرف‌نظر کردن نیست. این سازه‌ها به طریقی پیکربندی می‌شوند که مسیر انتقال بارها را از طریق عناصر سازه‌ای در سه بعد تأمین نمایند.

سازه‌های فضاکار با مصالح و روش‌های گوناگون احداث و در گروه‌های کلی به شرح زیر طبقه‌بندی می‌گردند.

۱-۱-۲-۱- دسته‌بندی سازه‌های فضاکار

سازه‌های فضاکار بر اساس نوع، شکل، مصالح، روش ساخت، نحوه کاربری و عمر مفید طبقه‌بندی می‌گردند.

۱-۱-۲-۱-۱ - دسته‌بندی بر اساس نوع و شکل

۱-۱-۲-۱-۱-۱ - سازه‌های فضاکار شبکه‌ای

سازه‌های فضاکار شبکه‌ای با ریخت‌های گوناگون طراحی و احداث می‌گردند و دارای استخوان‌بندی مقاوم از نوع اسکلتی می‌باشند و به گروه‌های زیر قابل تفکیک هستند:

- الف - شبکه‌های تخت تک‌لایه
- ب - شبکه‌های تخت دو و چندلایه
- پ - چلیک‌های تک‌لایه، دولایه و چندلایه
- ت - گنبد‌های تک‌لایه، دولایه و چندلایه
- ث - سایر شبکه‌های تک‌لایه و چندلایه باریخت‌های گوناگون
- ج - برج‌ها و دودکش‌های شبکه‌ای
- چ - سازه‌های کش‌بستی
- ح - سازه‌های شبکه‌ای تاشو
- خ - سازه‌های کابلی

۱-۱-۲-۱-۱-۲ - سازه‌های فضاکار پیوسته

سازه‌های فضاکار پیوسته به گروه‌های زیر قابل تفکیک هستند:

- الف - سازه‌های حجیم
- ب - تاوها و پوسته‌ها
- پ - سازه‌های پاشامی

۱-۱-۲-۱-۱-۳ - سازه‌های فضاکار دوگانه

سازه‌های فضاکار متشکل از اجزای منفصل و پیوسته در این گروه رده‌بندی می‌شوند. در طراحی سازه‌های فضاکار، می‌توان از تلفیق مناسبی از انواع و شکل‌های مذکور در فوق بهره‌گیری نمود.

۱-۱-۲-۱-۲ - دسته‌بندی بر اساس نوع مصالح

سازه‌های فضاکار به‌طور معمول با مصالح فولادی، آلومینیومی، چوبی، بتنی، مواد کامپوزیت، مصالح بنایی، شیشه‌ای، پاشامی، پانل‌های ساندویچی، ایاف بافته شده یا ترکیبی از این‌ها ساخته می‌شوند. این مصالح هم در اعضای تشکیل‌دهنده سازه‌های فضاکار و هم به عنوان پوشانه‌های این سازه‌ها به‌کاربرده می‌شوند.

۱-۱-۲-۱-۳- دستهبندی بر اساس شیوه‌های ساخت و بافت

سازه‌های فضاکار به لحاظ شیوه ساخت به دو گروه پیش‌ساخته و ساخت درجا تقسیم‌بندی می‌شوند. روش‌های پیش‌ساخته متعارف سازه‌های فضاکار را می‌توان به ۳ طبقه عمده پیونده‌ای، واحدی و ترکیبی تقسیم‌بندی کرد. بنابراین سیستم‌های پیونده‌ای، واحدی و ترکیبی در اغلب موارد در زمره سیستم‌های پیش‌ساخته محسوب می‌گردند که اغلب به صورت بخش‌های تکرارشونده پیش‌ساخته و با قابلیت تولید انبوه به روش‌های صنعتی تولید می‌گردند. هنگامی که به‌علت شکل و ابعاد سازه، بهره‌گیری از روش‌های پیش‌ساخته متعارف ملزومات اقتصادی طرح را ارضا ننماید، روش ساخت با توجه به ویژگی‌های پروژه تعیین می‌شود. همچنین از دیدگاه شیوه بافت، سازه‌های فضاکار شبکه‌ای به دو گروه پیش‌بافته و بافت درجا منقسم می‌گردند. در حالت پیش‌بافته، سازه فضاکار یا زیرمجموعه‌ای از آن، در تراز زمین بافته و از طریق بلند نمودن مجموعه در تراز و موقعیت نهایی خود استقرار خواهد یافت.

۱-۱-۲-۱-۴- دستهبندی بر اساس نوع کاربری

سازه‌های فضاکار را با توجه به تنوع کاربرد بر حسب نوع کاربری می‌توان به گروه‌های فراوانی طبقه‌بندی نمود. از جمله این کاربری‌ها می‌توان از سالن‌های اجتماعات، نمایشگاه‌ها، موزه‌ها، فرهنگ‌سراها، فضاها و استادیوم‌های ورزشی، آشیانه‌های هواپیما، پایانه‌های فرودگاه، راه‌آهن و اتوبوس، پروژه‌های صنعتی، پل‌ها، ساختمان‌های آموزشی، مسکونی، اداری، تجاری، بیمارستان‌ها، دکل‌های انتقال نیرو و برج‌های مخابراتی یاد کرد.

۱-۱-۲-۱-۵- دستهبندی بر اساس عمر مفید بهره‌برداری

در این آیین‌نامه، سازه‌های فضاکار از لحاظ عمر مفید بهره‌برداری به چهار گروه مطابق بند ۲-۲-۳ طبقه بندی گردیده‌اند که بهره‌برداری دراز مدت، میان‌مدت، موقت با امکان نصب و بازکردن به قصد نصب مجدد به صورت تاشو یا بازشو یا موقت جهت خدمت‌رسانی کوتاه مدت، برای کاربری‌های متنوع را شامل می‌گردند.

۱-۱-۳- دامنه کاربرد

این آیین‌نامه ضوابط و ملزومات تحلیل، طراحی، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری سازه‌های فضاکار شبکه‌ای فولادی تخت یا دارای انحنا، اعم از تک‌لایه یا چندلایه را در بر می‌گیرد. بخش عمده سازه‌های فضاکار فولادی را سازه‌های پیش‌ساخته تشکیل می‌دهند که شامل انواع سیستم‌های تجاری در خور تولید انبوه می‌باشند. این آیین‌نامه ضوابط پذیرش چنین سیستم‌های تجاری را نیز شامل می‌گردد. بنابراین حوزه فراگیری این آیین‌نامه منحصر به سازه‌های فولادی شبکه‌ای مذکور در ردیف (الف) تا (ه) بند (۱-۱-۲-۱-۱) می‌باشد که بیشترین کاربرد را در سطح ملی و جهانی داشته‌اند.

۱-۱-۴- سیستم واحدها

سیستم واحدهای مورد بهره‌گیری در ارتباط با کمیت‌های مورد بحث در این آیین‌نامه سیستم آحاد بین‌المللی (SI) می‌باشد.

۱-۱-۵- نمادها

نمادهای به‌کارگرفته شده در این آیین‌نامه به‌طور کلی منطبق با نمادهای متحدالشکل مورد تأیید سازمان بین‌المللی استانداردها (ISO) می‌باشد و جز در مواردی که به صراحت قید گردد، از این نمادها بهره‌گیری به‌عمل خواهد آمد.

۱-۲- مفاهیم بنیادین و مبانی طراحی

۱-۲-۱- مبانی نظری و فلسفه طراحی

فلسفه طراحی در این آیین‌نامه مبتنی بر حالات حدی است که همراه با ملزومات عملکردی مورد انتظار با بهره‌گیری از روش ضرایب پاره‌ای بار و مقاومت به‌کار گرفته می‌شود. در این آیین‌نامه، در ارتباط با سطوح اطمینان مورد نظر، متناسب با کاربری‌های متفاوت، رهنمودهای لازم برای طراحی سازه‌های فضاکار ارائه شده‌است. در این چارچوب از روش‌های طراحی مبتنی بر ترازهای عملکردی سازه، تحت تأثیر سطوح متفاوت کنش‌ها بهره‌گیری شده است که با توجه به سطح اطمینان مورد نظر و ملحوظ‌نمودن مبانی دیدگاه‌های بایستی (تعیینی) و شایستی (احتمال‌اندیشانه)، به نحوی سازگار در این آیین‌نامه به‌کار گرفته شده‌اند.

۱-۲-۲- شرایط طراحی و کنش‌ها

با توجه به رویدادهایی که یقیناً یا احتمالاً سازه فضاکار را در طول عمر بهره‌برداری تحت تأثیر قرار می‌دهند، شرایط طراحی متفاوتی ایجاد می‌گردد. سازه فضاکار برای هر یک از این شرایط، باید پایداری و عملکرد خود را مطابق با سطح عملکرد مورد انتظار و تعریف شده و تحت تأثیر ترازهای متفاوت کنش‌های محتمل ایفا نماید.

۱-۲-۳- مصالح

مصالح سازه‌ای مورد کاربرد در سازه‌های فضاکار مشمول این آیین‌نامه، شامل انواع فولادهای سازه‌ای به صورت قطعات نوردشده (گرم و سرد)، کوبن‌کاری (چلنگری) شده یا ریخته‌گری می‌باشند. مشخصات فنی مصالح مورد پذیرش در چارچوب این آیین‌نامه در فصل چهارم ارائه گردیده است. همچنین الکترودهای جوش و قطعات اتصال و پیچ‌ها باید ضوابط فصل چهارم این آیین‌نامه را ارضا نمایند.

مصالح مورد کاربرد در اجزای غیرسازه‌ای از جمله پوشاننده‌ها، دامنه وسیعی از مصالح را در برمی‌گیرند که در مورد هر یک، لازم است ملزومات استانداردهای مربوط ملی یا بین‌المللی به نحو مندرج در فصل چهارم رعایت گردد.

۱-۲-۴- پایایی

مجموعه سازه فضاکار و زیرمجموعه‌های آن باید در شرایط محیطی خود و در طول عمر مفید، با رعایت دستورالعمل بهره‌برداری و نگهداری از پیش تعیین شده، قابلیت بهره‌برداری مورد نظر را حفظ نمایند.

۱-۲-۵- فرم‌شناسی سازه‌ای

فرم‌شناسی سازه‌ای رشته‌ای از دانش است که به مطالعه ویژگی‌های هندسی شکل‌های سازه‌ای می‌پردازد. این مطالعه شامل بررسی جنبه‌های عمومی هندسه یک سازه مانند مختصات گره‌ها و هم‌بندی اعضا می‌باشد. به بیان دیگر، فرم‌شناسی سازه‌ای عبارت است از مطالعه علمی فرم و ساختار هم‌بندی سازه فضاکار از طریق تلفیق فرم‌شناسی با سازه‌شناسی و به‌کارگیری فرم معماری در خدمت محتوای سازه‌ای طرح که در طراحی سازه‌های فضاکار نقشی اساسی ایفا می‌نماید. ابزار مورد استفاده در فرم‌شناسی سازه‌ای عبارت‌اند از علم هندسه، جبر فرمکسی، نرم‌افزارهای گوناگون دارای قابلیت‌های لازم برای ایجاد و پردازش فرم‌ها و دیگر موارد. رهنمودهای لازم در این زمینه در فصل چهارم و پیوست‌های (۱- الف) و (۱- ب) این آیین‌نامه ارائه گردیده‌است.

۱-۲-۶- تحلیل

محاسبات فنی سازه باید با بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی تا حد امکان واقع‌گرایانه سازه و کنش‌های مؤثر در تطابق با شرایط مرزی، متناسب با میزان دقت مورد نظر صورت گیرد. لازم است نتایج تحلیل مدل ریاضی با بهره‌گیری از اصول و مفاهیم مهندسی سازه یا به روش‌های تجربی و از طریق آزمایش صحت‌سنجی شود.

۱-۲-۷- طراحی

طراحی شامل فرایندهای انتخاب شکل شبکه، اندازه‌ها، مشخصات مکانیکی اعضای شبکه، تعیین کنش‌های مؤثر بر آن، تعیین شرایط گوناگون طراحی در طول عمر مفید آن، تعیین شرایط مرزی و تحلیل رفتار آن، مطابق بخش دوم این آیین‌نامه برای بررسی سازگاری فرم و اندازه با نیازها می‌باشد و در صورتی که سازگاری تأمین نشود، فرم‌ها و اندازه‌ها و احتمالاً مشخصات مکانیکی تغییر یافته و تحلیل و بررسی تجدید می‌شود تا سازگاری مطلوب حاصل گردد.

طراحی سازه‌های فضاکار را می‌توان براساس ترکیب قانع‌کننده‌ای از محاسبات فنی سازه شامل محاسبات تحلیلی نظری، عددی و شیوه‌های شناخته‌شده طراحی سازه‌ها و در عین حال بررسی‌های تجربی (آزمایش‌های محلی و آزمایشگاهی) به نتیجه رساند. به‌طور معمول در مواردی که مدل‌ها و روش‌های محاسباتی واقع‌گرایانه‌ای برای تحلیل با دقت مورد نظر در دست نباشد، لازم است از مشاهدات و داده‌های حاصل از آزمایش بهره‌گیری و استنتاج به عمل آید. در بررسی صحت و سقم مفروضات طراحی، انجام آزمایش سهم بسزایی در اتخاذ تصمیمات قابل دفاع طراحی خواهد داشت.

۱-۳- مدیریت کیفیت

سازه فضاکار باید طبق خواسته‌های کارفرما و بهره‌بردار و منطبق با مفروضات طراحی و به منظور برآوردن نیازهای طرح، مطالعه، طراحی، ساخته، نصب و نگهداری شود. در این زمینه باید تدابیر لازم به منظور نیل به سطح اطمینان کیفی مورد نظر، از طریق تعیین سطح اطمینان، سازماندهی سیستم مدیریت کیفیت و اعمال کنترل مضاعف در مراحل مطالعاتی، طراحی، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری، اتخاذ گردد. در بخش سوم این آیین‌نامه به تفصیل و در پیوست ۷ به اجمال به مدیریت کیفیت در فرایند طرح و احداث سازه‌های فضاکار پرداخته شده‌است.

۱-۴- اصول اجرا

در این آیین‌نامه حداقل استانداردهای کیفی عملیات اجرایی ساخت و نصب ارایه گردیده‌اند تا اطمینان حاصل شود که مفروضات طراحی براساس این آیین‌نامه ارضا و سطح ایمنی مورد نظر تأمین گردیده است. همچنین اصول ایمنی اجرای سازه‌های فضاکار، رواداری‌های اجرایی (ساخت و نصب) و شیوه‌های اعمال اصول مدیریت ساخت تبیین گردیده‌اند. متناسب با نوع کنش و کیفیت و عملکرد مورد انتظار رفتار و پاسخ سازه، ممکن است سطوح متفاوت دقت و کیفیت ساخت و نصب مورد نیاز باشد. بخش سوم این آیین‌نامه به صورت تفصیلی و پیوست ۷ به صورت اجمالی به این موارد اختصاص یافته‌است.

۱-۵- اصول بهره‌برداری و نگهداری

بهره‌برداری از سازه باید با فرضیات طراحی سازگار بوده و به نحوی از آن نگهداری به‌عمل آید تا در طول عمر مفید خود جوابگوی نیازهای عملکردی و بهره‌برداری مورد انتظار باشد. بخش چهارم این آیین‌نامه به این امر اختصاص یافته‌است.

۱-۶- اصول مستندسازی

تمامی فعالیت‌های مرتبط با احداث پروژه از بدو احساس نیاز و متعاقباً مطالعات توجیهی و امکان‌سنجی، مطالعات مرحله اول، مطالعات طراحی تفصیلی، مشخصات فنی، اسناد مناقصه، نقشه‌های طراحی، نقشه‌های ساخت، نقشه‌های نصب، نقشه‌های چون‌ساخت و مدارک فنی بهره‌برداری و نگهداری و تاریخچه بازرسی‌های فنی و همچنین ترمیمات و عملیات بهسازی باید مستندسازی گردند. اصول و مبانی و جزییات فرایندها و روش‌ها و گونه‌های مستندسازی مدارک فنی پروژه موضوع بخش پنجم این آیین‌نامه است. در پیوست ۸ نیز نکات اصلی اصول مستندسازی به اختصار مورد اشاره قرار گرفته است.

۱-۷- سایر استانداردها و مدارک مرتبط با آیین نامه

در مواردی که بین مفاد این آیین نامه و سایر آیین نامه‌ها، دستورالعمل‌ها و مشخصات فنی منتشر شده برای ابنیه، تفاوت یا تناقضی یافت گردد، مشخصات، ضوابط و ملزومات مندرج در آیین نامه حاضر در مورد سازه‌های مشمول این آیین نامه، حایز اولویت بوده و نافذ خواهند بود. در موارد لزوم، به استانداردها، مقررات و آیین نامه‌های ملی و در موارد کمبود مدارک ملی به استانداردهای معتبر جهانی با ذکر شیوه‌های کاربرد همساز و هماهنگ استانداردهای مزبور با این آیین نامه، رجوع داده خواهد شد.

بخش دو

طراحی

۲

مبانی طراحی

۱-۲ - مقدمه

در این فصل مبانی طراحی، ارزیابی و کنترل طرح براساس فلسفه طراحی مبتنی بر حالات حدی همراه با ملزومات عملکردی مورد انتظار به روش ضرایب پاره‌ای بار و مقاومت تشریح شده است.

۲-۲ - الزامات بنیادین طراحی

۱-۲-۲ - اصول بنیادین

۱-۱-۲-۲

سازه‌های فضاکار مشمول این آیین‌نامه باید به نحوی طراحی و احداث شوند که در طول عمر مفید مورد نظر، با سطح اطمینان تعریف‌شده و با رعایت ملاحظات اقتصاد مهندسی، شرایط زیر را پاسخگو باشند:

- سازگاری خود را برای کاربری مورد نظر حفظ نمایند.
- در مقابل همه کنش‌های محتمل و آثار محتمل ناشی از آن‌ها، چه در حین ساخت و نصب و چه در طول دوره بهره‌برداری، با توجه به تراز عملکردی مورد نظر، پاسخ تعریف شده‌ای را از خود بروز دهند.

۲-۱-۲-۲

سازه‌های فضاکاری که مطابق با بند فوق طراحی و احداث می‌گردند، باید جنبه‌های ایمنی، خدمت‌رسانی و پایداری را با توجه به شرایط مورد نظر در طراحی و اصول طراحی مفهومی و معیارهای عملکردی ارضا نمایند.

۳-۱-۲-۲

سازه‌های فضاکار باید به نحوی طراحی و احداث گردند که علاوه بر اراییه رفتار پیش‌بینی شده تحت تأثیر کنش‌های محتمل در طول عمر مفید خود، در صورت وقوع آتش‌سوزی، انفجار، ضربه و عواقب اشتباهات انسانی، میزان گستردگی خسارات وارده به طور نامتناسب از آنچه به ویژگی‌های علت اولیه و کنش وارده مربوط بوده است، فراتر نرود.

۴-۱-۲-۲

لازم است با بهره‌گیری از تدابیر متناسب تلاش کرد تا از بروز صدمه‌های بالقوه به گونه‌های زیر جلوگیری به عمل آورد یا میزان گستردگی آن‌ها را محدود نمود:

- پرهیز، حذف یا کاهش خطراتی که سازه فضاکار محتملاً در معرض آن قرار خواهد گرفت.
- انتخاب فرم در خدمت محتوا و بهره‌گیری از ویژگی‌هایی که منجر به کاهش میزان حساسیت سازه در برابر خطر یا کنش مورد نظر گردد.

- انتخاب شکل سازه و رعایت اصول طراحی مفهومی به منظور جلوگیری از خرابی پیش‌رونده، به این معنی که در صورت حذف یا نقصان عملکردی اتفاقی یک عضو، پیونده یا بخش محدودی از سازه و همچنین در صورت اعمال خسارات موضعی، سازه فضاکار به صورت زنجیره‌وار دستخوش خرابی پیش‌رونده نگردد.
- اجتناب از انتخاب سیستم‌ها، جزییات و مصالح سازه‌ای که دارای پتانسیل وقوع خرابی به صورت ناگهانی و بدون اخطار قبلی می‌باشند.
- هم‌بندی و پیکربندی به منظور ایجاد پیوستگی و یکپارچگی مجموعه سازه و ارتقای مشارکت عناصر تشکیل‌دهنده سازه در رفتار مجموعه.

۵-۱-۲-۲

- الزامات بنیادین مذکور در بند ۴-۱-۲-۲ در سازگاری با اهداف کاربری هر پروژه خاص با اتخاذ تدابیر زیر قابل تأمین خواهند بود:
- انتخاب مصالح مناسب،
 - طراحی مفهومی صحیح مجموعه و جزییات،
 - انتخاب شیوه‌ها و سیستم‌های متناسب با نوع پاسخ مورد نظر در مقابل کنش خاص و در تراز عملکردی تعریف‌شده،
 - ارایه و اعمال مشخصات فنی ساخت،
 - برقراری سیستم کنترل و تضمین کیفیت در همه مراحل طراحی، تولید، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری.

۲-۲-۲ - قابلیت اعتماد و سطوح اطمینان

۱-۲-۲-۲

سطوح اطمینان مورد نظر به شرطی برای سازه‌های فضاکار مشمول این آیین‌نامه قابل تأمین تلقی می‌گردد که طراحی و احداث آنها طبق ضوابط مندرج در این آیین‌نامه و با اعمال سیستم مدیریت کیفیت مؤثر و کارا صورت پذیرد.

۲-۲-۲-۲

معمولاً سطوح اطمینان متفاوتی برای ایمنی و خدمت‌رسانی سازه اختیار می‌گردند. همچنین در چارچوب دیدگاه‌های مبتنی بر عملکرد سازه، در هر تراز عملکردی، متناسب با سطح خطر مرتبط با کنش مورد مطالعه، سطوح اطمینان متفاوتی در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۲-۲-۲

سطوح اطمینان به کنش‌های زیر وابسته‌اند:

- سبب و نحوه پاسخ در ارتباط با حالت حدی تعریف‌شده،
- عواقب گسیختگی به لحاظ خسارات جانی، جراحات وارده، صدمات بالقوه یا بالفعل اقتصادی و میزان اختلال در امنیت اجتماعی و فردی،
- میزان هزینه‌های لازم در ارتباط با بهره‌گیری از راهکارهای ممکن برای کاهش خطرپذیری و ارتقای ایمنی،
- سطوح اطمینان مورد نظر متناسب با میزان اهمیت سازه و براساس شاخص‌های معین و سطوح خطرپذیری تعریف‌شده.

۴-۲-۲-۲

طبقه‌بندی سطوح اطمینان در ارتباط با ایمنی و خدمت‌رسانی سازه، برای مجموعه سازه، اعضا و اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای براساس طبقه‌بندی درجه اهمیت این عناصر و با توجه به ترازهای عملکردی متناسب با سطوح خطر مورد نظر تحت تأثیر کنش‌های گوناگون مؤثر یا محتمل به عمل می‌آید.

سطح اطمینان لازم در ارتباط با ایمنی و خدمت‌رسانی سازه فضاکار با ترکیب مناسب معیارها و ویژگی‌های زیر قابل حصول تلقی می‌گردد:

- اهداف کاربری و پاسخ مورد انتظار سازه از نظر عملکرد تحت تأثیر کنش‌های مؤثر با درجه احتمال وقوع متفاوت متناسب با طبقه‌بندی سازه از دیدگاه اهمیت،
- عمر مفید و پایایی،
- کیفیت مطالعات به عمل آمده در مراحل توجیهی و امکان‌سنجی، شناسایی‌های منطقه‌ای و محلی و بررسی‌های میدانی، شناسایی کنش‌های تابع موقعیت مکانی و شرایط اقلیمی، شناسایی و بررسی گزینه‌های شدنی و انتخاب گزینه برتر بر اساس شاخص‌های تعیین‌شده،
- معیارهای طراحی و محاسباتی و مقادیر معرف کنش‌های مؤثر،
- ضرایب پاره‌ای بار و مقاومت در محاسبات فنی سازه،
- شیوه اعمال اصول مدیریت کیفیت به منظور: کاهش خطاهای محتمل در برآورد مقادیر کنش‌ها، دستیابی به میزان دقت مورد نظر مدل‌سازی، صحت فرایند طراحی، صحت فرایند ساخت و کاهش خطاهای انسانی،
- میزان پیوستگی و یکپارچگی سازه،
- تدابیر پیشگیرانه و حفاظتی (مانند تدابیر فعال و غیرفعال کنترل لرزه‌ای سازه، تدابیر فعال و غیرفعال در مقابل آتش‌سوزی، حفاظت در مقابل خوردگی و اضمحلال مصالح، حفاظت پایه‌ها در مقابل اعمال ضربه،
- کیفیت و میزان دقت مدل‌سازی و روش و ابزار تحلیل،
- کیفیت طراحی مفهومی و طراحی جزئیات اجرایی،

- کیفیت ساخت،
- کیفیت طراحی در ارتباط با میزان سهولت بهره‌برداری و نگهداری و کیفیت بازرسی فنی،
- نگهداری مبتنی بر بازدیدهای عمومی و ادواری، پایش از راه دور و ... مطابق مشخصات فنی تدوین شده به منظور نگهداری پروژه.

۳-۲-۲- عمر مفید طراحی

عمر مفید سازه باید در مدارک طراحی و مشخصات فنی بهره‌برداری و نگهداری به وضوح ذکر گردد. عمر مفید طرح دوره زمانی مفروضی است که طی آن سازه برای کاربری و بهره‌برداری مورد نظر با سطح نگهداری متعارف، بدون نیاز به تعمیر اساسی تحت تأثیر کنش‌های مفروض و با توجه به سطح اطمینان تعریف شده و درجه اهمیت، مورد بهره‌برداری قرار داده می‌شود. در مورد سازه‌های فضاکار مشمول این آیین‌نامه راهنمای عمر مفید طراحی بسته به نوع کاربری به شرح جدول ۱-۲ ارائه می‌گردد:

جدول ۱-۲- راهنمای تعیین عمر مفید طراحی سازه‌های فضاکار

| گروه عمر مفید | عمر مفید طراحی | موارد ذیربط |
|---------------|---------------------|--|
| ۱ | تا ۱۰ سال | سازه‌های موقت که برای کاربری کوتاه مدت بدون قابلیت تکرار در کاربری طراحی می‌شوند. |
| ۲ | تا ۲۵ سال | سازه‌هایی که برای کاربردهای نسبتاً کوتاه مدت احداث می‌گردند؛ شامل سازه‌هایی که برای دفعات متعدد با امکان بازکردن و سرهم کردن مجدد به منظور کاربری‌های کوتاه مدت به تکرار به کار می‌روند؛ همچنین اعضای قابل تعویض سازه در این بازه زمانی، از قبیل دستگاه‌های تکیه‌گاهی. |
| ۳ | تا ۵۰ سال | سازه‌های با کاربرد متعارف، سازه‌های صنعتی، آشیانه‌های هواپیما، سازه‌های تجاری، انبارها، نمایشگاه‌ها، سالن‌های اجتماعات، دکل‌ها و ... |
| ۴ | تا ۱۰۰ سال یا بیشتر | سازه‌های دارای اهمیت استراتژیک با کاربری دراز مدت، سازه‌های فضاکار ماندگار، اغلب با اهمیت نمادین که حایز اهمیت ویژه یا به طور مشخص و منفرداً تأثیرگذار در محیط مصنوع یا طبیعی می‌باشند؛ سازه‌های فضاکار به کار رفته در پل‌ها، ورزشگاه‌ها، نمایشگاه‌ها و سایر ابنیه با کاربری طولانی مدت. |

۴-۲-۲- پایایی

۱-۴-۲-۲

با توجه به شرایط محیطی، دیدگاه‌های عملکردی و روش نگهداری پیش‌بینی شده، سازه فضاکار را باید به نحوی طراحی نمود که فرسودگی، اضمحلال، خستگی، تغییر شکل‌های تابع زمان و آثار نظیر آنها در طول عمر مفید طراحی منجر به نزول کیفیت عملکرد سازه در مقایسه با آنچه در طراحی عملکردی مورد انتظار بوده است، نگردد.

۲-۴-۲-۲

نکات زیر باید به منظور حصول اطمینان از پایایی سازه فضاکار در حد مورد انتظار، مدّ نظر قرار گیرند:

- تعیین کاربری پیش‌بینی‌شده یا محتمل سازه در آینده و طبقه‌بندی میزان اهمیت سازه و انتخاب عمر مفید، رعایت معیارها و ملزومات طراحی مندرج در این آیین‌نامه،
- آثار کنش‌های محیطی شناسایی‌شده، شرایط اقلیمی، مشخصه‌ها و ویژگی‌های ساختگاه،
- ترکیب، خواص و عملکرد مصالح سازه‌ای و غیرسازه‌ای و تولیدات صنایع ساختمانی،
- انتخاب سیستم و فرم مجموعه سازه و مصالح سازه و پوشانه‌ها، متناسب با شرایط اقلیمی و کنش‌های وابسته به ویژگی‌های منطقه‌ای و محلی،
- طراحی تفصیلی گزینه برتر و انتخاب ریخت و ابعاد مناسب برای اعضای سازه‌ای و پوشانه‌ها و طراحی جزییات اجرایی به منظور افزایش پایایی و سهولت نگهداری،
- اعمال سیستم مدیریت کیفیت در طراحی و ساخت و انتخاب سطح متناسب کنترل کیفیت،
- اتخاذ تدابیر پیشگیرانه و حفاظتی ویژه،
- اعمال سیستم مدیریت بهره‌برداری و نگهداری مستمر بر اساس مشخصات فنی مربوط در طول عمر مورد نظر.

۳-۴-۲-۲

آثار شرایط محیطی باید در مرحله مطالعات توجیهی و امکان‌سنجی، ارزیابی و در مرحله طراحی تدقیق گردند و در ارتباط با پایایی سازه مورد سنجش قرار گیرند و به تناسب هر یک از کنش‌های مؤثر، پیش‌بینی‌های لازم برای حفاظت مصالح و اجزای سازه به عمل آید.

میزان فرسودگی، خوردگی و اضمحلال مصالح از طریق محاسبات، براساس تحقیقات تجربی و یا از طریق اطلاعات گردآوری‌شده در ارتباط با تجارب حاصله از ساختمان‌های قبلی که در معرض چنین شرایط محیطی قرار داشته‌اند، قابل برآورد می‌باشد.

۲-۴-۵ - مدیریت کیفیت

تمامی فعالیت‌های مطالعات توجیهی و امکان‌سنجی، بررسی گزینه‌های ذیربط و انتخاب گزینه برتر، طراحی، تولید، ساخت، احداث، بهره‌برداری و نگهداری و مستندسازی مدارک فنی سازه‌های فضاکار باید در چارچوب ساختار مدیریت کیفیت فراگیر به عمل آید. در این چارچوب، نیازهای مرتبط با برنامه‌های کنترل و تضمین کیفیت در تمامی مراحل، به طریق اولی ارضا خواهد گردید.

۶-۲-۲ - شرایط طراحی

۱-۶-۲-۲

شرایط طراحی باید به نحوی انتخاب گردند که تمامی اوضاع و شرایطی را که در دوره اجرا و بهره‌برداری سازه قابل پیش‌بینی است، شامل گردند و طراحی به قصد تأمین پایداری و ارایه عملکرد مورد نظر در این شرایط صورت پذیرد.

۲-۶-۲-۲

شرایط طراحی و کنش‌ها در تقسیم‌بندی کلی به گروه‌های زیر منقسم می‌شوند:

الف - شرایط مستمر: مربوط به شرایط بهره‌برداری متعارف سازه،

ب - شرایط گذرا: مربوط به شرایط موقت سازه، به عنوان مثال: دوره ساخت، تعمیرات، مقاوم‌سازی و بهسازی،

پ - شرایط تصادفی: مربوط به شرایط استثنایی محتمل و مرتبط با ویژگی‌های سازه یا شرایط محیطی یا موارد دیگر مانند آتش‌سوزی، انفجار و ضربه،

ت - وقوع زلزله: مربوط به زمین‌لرزه محتمل‌الوقوع در ساختگاه. در این آیین‌نامه، به ویژه در حالت طراحی برای در نظر گرفتن آثار ناشی از وقوع زلزله، چارچوب فلسفه طراحی مبتنی بر عملکرد به شرح مندرج در فصل سوم حاکم خواهد بود.

۳-۲ - حالات حدی

۱-۳-۲ - کلیات

۱-۱-۳-۲

حالات حدی به حالاتی اطلاق می‌گردند که با گذر از آستانه آنها، سازه قادر به ارضای خواسته‌ها و نیازهای بهره‌برداری و عملکردی طرح نباشد.

۲-۱-۳-۲

حالات حدی به دو طبقه کلی حالات حدی نهایی و حالات حدی خدمت‌رسانی به طور متمایز تقسیم می‌شوند. در صورتی می‌توان بررسی یکی از حالات حدی را انجام نداد، که اطلاعات متقن موجود ثابت نماید که نیازهای یک حالت حدی با تأمین نیازهای حالات حدی دیگر به طور واضح قابل تأمین است.

۳-۱-۳-۲

حالات حدی متناسب با شرایط طراحی اختیار می‌گردند. سه گروه مرتبط با کنش‌های دایمی، گذرا یا تصادفی در بررسی حالات حدی مورد توجه می‌باشند. کنترل‌های لازم برای حالات حدی که در ارتباط با آثار تابع زمان مانند

خستگی می‌باشند، در ارتباط با نحوه بهره‌برداری، جزییات اجرایی، عمر مفید سازه و شرایط محیطی به عمل می‌آیند. همچنین در بررسی حالات حدی مورد مطالعه در شرایط طراحی تحت تأثیر کنش‌های طبیعی، علاوه بر عمر مفید، دوره بازگشت تخمینی برای کنش مورد بحث را نیز باید مورد توجه قرار داد. در این بررسی‌ها در مورد شیوه انجام تحلیل خطر ویژه ساختگاه و بهره‌گیری از رهیافت‌های بایدی (تعیینی) یا شایدی (احتمال‌اندیشانه)، بسته به میزان اهمیت سازه، نوع کنش و میزان و کیفیت داده‌ها اتخاذ تصمیم می‌گردد.

۲-۳-۲ - حالات حدی نهایی

۱- ۲-۳-۲

حالات حدی نهایی به حالاتی اطلاق می‌شود که با ایمنی سازه، سکنه و بهره‌برداران و در موارد حایز اهمیت، با محتویات سازه ارتباط دارد.

۲- ۲-۳-۲

حالات حدی که بررسی آنها بسته به مورد حایز اهمیت است، به شرح زیر می‌باشند:

- از دست‌رفتن تعادل سازه یا بخشی از سازه، هرگاه به صورت جسم صلب در نظر گرفته شود.
- بروز تغییر شکل‌های بزرگ، تبدیل سازه یا بخشی از آن به ساز و کار ناپایدار، بروز پلاستیسیته گسترده، شکست، پارگی و از هم گسیختگی، ناپایداری سازه یا بخشی از آن شامل شالوده‌ها و تکیه‌گاه‌ها (ناپایداری‌های کلی یا موضعی).
- گسیختگی‌های ناشی از اثر خستگی یا سایر کنش‌های تابع زمان.

۳-۲-۳-۲

ضرایب پاره‌ای متفاوتی در حالات گوناگون حدی برحسب میزان اهمیت و گستره حالت حدی مورد نظر از جهت آثار کلی یا موضعی آن قابل اعمال است که در فصل چهارم به آن پرداخته خواهد شد.

۴-۲-۳-۲

حالات حدی نهایی در چارچوب مفاهیم طراحی مبتنی بر عملکرد باید متناسب با میزان خطرپذیری، درجه اهمیت، عملکرد مورد انتظار، تحت تأثیر سطح خطر قابل پیش‌بینی و میزان خسارت قابل پذیرش در ترازهای ایمنی و بهره‌برداری تعیین گردند.

۲-۳-۳ - حالات حدی خدمت‌رسانی

۲-۳-۳-۱

حالات حدی خدمت‌رسانی با کنش‌های مشروح در زیر مرتبط می‌باشند:

- عملکرد سازه و یا عناصر سازه متناسب با کاربری مورد نظر.
- رفاه بهره‌برداران (حد ارتعاش، اختلال عملکردی، ...).
- وضعیت ظاهری (تغییر مکان زیاد، ترک‌خوردگی منجر به اختلال در بهره‌برداری از ساختمان یا تجهیزات و تأسیسات سازه یا آسیب‌رسانی به روسازی و نازک‌کاری).

۲-۳-۳-۲

حالات حدی خدمت‌رسانی از دیدگاه عملکردی باید متناسب با خطرپذیری، میزان اهمیت و عملکرد مورد انتظار در سطوح خطر تعریف‌شده تعیین گردند.

۲-۳-۳-۳

اگر به نحو دیگری به وضوح مشخص نشده باشد، معمولاً خواسته‌های کارفرما در ارتباط با کیفیت خدمت‌رسانی سازه، اعضای سازه و اجزای غیرسازه‌ای در سطوح ایمنی و بهره‌برداری در قرارداد و شرح خدمات طرح مشخص می‌گردند.

۲-۳-۴ - طراحی مبتنی بر حالات حدی

۲-۳-۴-۱

طراحی براساس حالت‌های حدی باید به شیوه زیر دنبال گردد:

- طراحی بر اساس مدل‌های سازه و مدل‌های بار برای حالات حدی و ترازهای عملکردی ذیربط صورت گیرد.
- با توجه به ویژگی‌های سازه فضاکار، روش تحلیل و نحوه مدل‌سازی در فصل پنجم این آیین‌نامه ارایه گردیده‌است. مدل‌های تحلیل سازه باید به گونه‌ی واقع‌گرایانه‌ای در برگزیده‌ی مقادیر کنش‌ها در سطوح ایمنی و بهره‌برداری شرایط سرحدی، خصوصیات مصالح و تولیدات ساختمانی و همچنین اطلاعات هندسی و نحوه هم‌بندی اعضا باشند و نتایج تحلیل باید تأیید نماید که در هیچ یک از حالت‌های حدی معیارهای تعریف‌شده، متناسب با ترازهای عملکردی متناظر نقض نخواهند گردید.
- کنترل‌های لازم به منظور ارزیابی حالات حدی باید برای همه‌ی کنش‌ها، ترکیب بارها و شرایط طراحی به عمل آید.

۲-۴-۳-۲

ملزومات طراحی حالات حدی با اعمال روش ضرایب پاره‌ای بار و مقاومت، به نحوی که در این آیین‌نامه تعیین گردیده‌اند، ارضا می‌گردند.

۳-۴-۳-۲

به عنوان گزینه‌ای دیگر، طراحی مبتنی بر دیدگاه‌های شایدهی (احتمال‌اندیشانه) و منطبق با اصول و مبانی فلسفی و نظری طراحی در حیطه مهندسی سازه‌های فضاکار نیز قابل اعمال خواهند بود.

۴-۴-۳-۲

در حالت‌های طراحی متفاوت، مقادیر کنش‌ها و ضرایب پاره‌ای باید در هماهنگی با سطح اطمینان مورد نظر تعیین گردند.

۵-۴-۳-۲

در فرایند طراحی، مجموعه‌های گوناگون حالات بارگذاری و ترکیبات بار محتمل و مجموعه‌هایی از حالت‌های محتمل تغییرشکل‌ها و ناکاملی‌های اولیه‌ای که پیش‌بینی می‌گردد، به طور همزمان با کنش‌های متغیر، ثابت و دائمی اعمال خواهند گردید، تعیین و در مدل‌سازی ملحوظ خواهند گردید.

۲-۴ - کنش‌ها و آثار محیطی

با توجه به این‌که سازه‌های فضاکار را می‌توان در انواع ساختمان‌ها و ابنیه از قبیل، نمایشگاه‌ها و سالن‌های چند منظوره، سالن‌های اجتماعات، ساختمان‌های صنعتی، دکل‌های انتقال نیرو، سازه‌های دریایی، برج‌های خنک‌کن، پل‌ها، ساختمان‌های مسکونی، اداری و تجاری، بیمارستان‌ها و ... به کاربرد، ضوابط بارگذاری هر یک از این ابنیه، منطبق بر آیین‌نامه تدوین شده برای کاربرد مزبور، باید علاوه بر ضوابط کلی این آیین‌نامه ارضا گردند.

۲-۴-۱ - دسته‌بندی

در این آیین‌نامه کنش‌ها و آثار تابع شرایط محیطی به شرح زیر طبقه‌بندی می‌گردند:

۱-۴-۲

براساس ماهیت اعمال بار و پاسخ سازه:

- کنش‌های استاتیکی،

- کنش‌های دینامیکی.

۲-۴-۱-۲

بر اساس منشأ اثر بار:

- کنش‌های مستقیم،
- کنش‌های غیرمستقیم.

به عنوان مثال، اعمال نیرو بر سازه حالت اعمال مستقیم کنش، ولی اعمال تغییرشکل از پیش تعیین شده، شتاب تکیه‌گاهی، آثار ناشی از تغییرات دما، ناکاملی‌ها، رطوبت، نشست غیرمتجانس شالوده‌ها در زمره حالات اعمال غیرمستقیم این کنش‌ها به شمار می‌روند.

۳-۴-۱-۲

بر اساس تغییرات فضایی موقعیت اثر کنش‌ها:

- کنش‌های ثابت،
- کنش‌های متحرک.

بارهای مرده و بارهای تجهیزات ثابت از جمله کنش‌های ثابت و بارهای جراثقال و قطار از جمله کنش‌های متحرک به‌شمار می‌روند. در بسیاری از حالت‌ها، ممکن است به توان آثار دینامیکی کنش‌ها را با کنش‌های شبه استاتیکی به نحوی جایگزین نمود که به آثار معادل رفتار واقعی به اندازه کافی نزدیک شده باشند.

۴-۴-۱-۲

بر اساس وابستگی و تغییرات نسبت به زمان:

- کنش‌های دایمی مانند وزن سازه، بار تجهیزات ثابت، روکاری و کنش‌های غیرمستقیم ناشی از انقباض یا نشست نامتجانس،

- کنش‌های متغیر مانند سربارها (بارهای زنده)، بارهای باد یا برف،

- کنش‌های تصادفی مانند اعمال ضربه ناشی از وسایط نقلیه، بارهای ناشی از انفجار.

برخی از کنش‌ها مانند زلزله و برف را می‌توان در بیش از یک گروه مذکور در فوق (تصادفی یا متغیر) تقسیم‌بندی کرد که این امر به موقعیت محلی و کنش‌های موثر دیگر بستگی دارد.

تفسیر - برخی از کنش‌ها را می‌توان بسته به میزان تغییراتشان نسبت به زمان، دایمی یا متغیر در نظر گرفت. همچنین برخی از کنش‌های غیرمستقیم ناشی از اعمال تغییر مکان‌هایی مانند نشست تکیه‌گاهی در مواردی دایمی و در مواردی غیردایمی خواهند بود که بستگی به نحوه بروز و شیوه اعمال خواهند داشت.

پیش‌تنیدگی را می‌توان یک کنش دایمی در نظر گرفت که تحت کنترل نیرو یا تغییر مکان اعمال می‌گردد. با این وجود، در بررسی آثار افت پیش‌تنیدگی و خزش، این کنش تابع زمان خواهد بود.

برخی از کنش‌های غیرمستقیم مانند نشست تکیه‌گاهی اغلب دارای اثر دایمی می‌باشند و برخی دیگر مانند آثار تغییرات دما معمولاً به صورت متغیر بررسی می‌گردند.

هر کنش از طریق مدلی مناسب و واقع‌گرایانه شبیه‌سازی می‌شود. مدل کنش‌های مؤثر بر سازه‌ها معمولاً به صورت کمیت‌های برداری، دارای بزرگا و جهت‌برداری ثابت یا متغیر، مستقل یا وابسته به زمان تعریف می‌گردد.

۲-۴-۲ - آثار ناشی از خستگی

مدل‌سازی به منظور بررسی آثار ناشی از خستگی بر اساس معرفت زمان، توصیه‌های طراحی و در صورت فقدان آن براساس پژوهش و آزمایش، به منظور تعیین طیف‌های طرح، صورت خواهد گرفت. در ارزیابی این آثار باید کنش‌های محیطی، نوع مصالح، نحوه اعمال بار، ویژگی‌های هندسی و نوع رفتار (براساس مکانیک شکست الاستیک خطی یا مکانیک شکست الاستوپلاستیک) و پارامترهایی مانند حیطه تغییرات تنش، تنش متوسط، نسبت تنشی منظور گردند.

۲-۴-۳ - کنش‌های دینامیکی

مدل‌های کنش‌های دینامیکی شامل آثار اعمال شتاب خواهند بود که به صورت مستقیم با اعمال دینامیکی یا به صورت غیرمستقیم از طریق اعمال ضرایب بزرگنمایی بر بارهای استاتیکی مشخصه ملحوظ می‌گردند. در حالاتی که کنش‌های دینامیکی منجر به ایجاد شتاب قابل ملاحظه سازه فضاکار شوند، تحلیل دینامیکی سیستم الزامی است.

۲-۴-۴ - کنش‌های وابسته به ویژگی‌های ژئوتکنیکی

این کنش‌ها براساس داده‌های حاصل از مطالعات مکانیک و دینامیک خاک و مشخصه‌های دیگر ژئوتکنیکی ساختگاه تخمین زده می‌شوند.

۲-۴-۵ - آثار محیطی

آثار محیطی مؤثر بر پایایی سازه را باید در انتخاب مشخصات فنی مصالح و طراحی مفهومی و تفصیلی و شیوه ساخت و حفاظت و نگهداری مورد توجه قرار داد. در حالاتی که این کنش‌ها قابل کمی‌شدن باشند، لازم است به بررسی کمی این آثار پرداخت.

۲-۴-۶ - آتش‌سوزی

طراحی در مقابل آثار آتش‌سوزی باید براساس وضعیت و شرایط محتمل آتش‌سوزی به عمل آید.

۲-۴-۷ - مقادیر مشخصه کنش‌ها

۲-۴-۷-۱

مقدار مشخصه هر کنش معرف و شاخص اصلی آن کنش به شمار می‌رود.

۲-۷-۴-۲

مقادیر مشخصه کنش‌ها در بخش‌های مربوط این آیین‌نامه در مورد کنش‌های متغیر به روش‌های زیر در نظر گرفته می‌شوند:

- کرانه بالایی با این هدف که در طول بهره‌برداری احتمال تجاوز از آن به میزان اندکی محدود گردد.
- کرانه پایینی با در نظر گرفتن میزان احتمال وقوع مشخص و قابل حصولی در یک بازه معلوم زمانی،
- مقدار اسمی در حالتی که توزیع احتمالی متقنی در دست نباشد.

۳-۷-۴-۲

مقدار مشخصه یک کنش دائمی باید به ترتیب زیر تعیین شود:

- اگر تغییرات مقادیر کنش دائمی کوچک باشد، یک مقدار ثابت را می‌توان به کار برد.
- اگر تغییرات در مقدار کنش دائمی کوچک نباشد، دو مقدار را باید به کار گرفت: یک مقدار کرانه بالایی و یک مقدار کرانه پایینی،
- بار مرده سازه را می‌توان با مقدار مشخصه معینی که بر اساس ابعاد اسمی و جرم ویژه متوسط به دست می‌آید، محاسبه نمود.

۴-۷-۴-۲

مقادیر مشخصه کنش‌های وابسته به شرایط اقلیمی و ساختگاه در حالات طراحی مربوط، باید بر مبنای احتمال تجاوز مشخص بخش تابع زمان کنش در دوره زمانی مشخص و در ارتباط با عمر مفید و دوره بازگشت مورد نظر تعیین گردند. با توجه به شرایط طراحی و ماهیت کنش‌های مؤثر، جزییات امر در فصل‌های سوم و چهارم ارائه خواهد گردید.

۵-۷-۴-۲

در مورد کنش‌های تصادفی، مقادیر مشخصه با توجه به نوع و ماهیت پروژه تعیین می‌گردند.

۶-۷-۴-۲

در مورد آثار ناشی از زلزله، در این آیین‌نامه بر اساس معیارهای ارزیابی مبتنی بر عملکرد، بررسی‌های لازم برای دو سطح ایمنی و بهره‌برداری و با ترازهای عملکردی تعریف‌شده از نظر بهره‌برداری و میزان خسارت بسته به میزان اهمیت سازه (سازه‌های حیاتی، مهم، متعارف و ...) صورت می‌گیرد. مشخصه‌های زلزله در سطح بهره‌برداری و در سطح ایمنی متناسب با عمر مفید سازه، دوره بازگشت و میزان احتمال تجاوز مشخصی از آن در عمر مفید سازه، تعیین می‌گردند.

۷-۷-۴-۲

در تمامی مواردی که آثار ناشی از کنش‌ها به صورت چند مؤلفه‌ای تأثیر می‌نمایند، مقادیر مشخصه شامل مجموعه‌ای از مقادیر خواهند بود که با ملحوظ‌داشتن اثر همزمانی کنش‌های چندمؤلفه‌ای در نظر گرفته می‌شوند.

۸-۷-۴-۲

مقادیر مشخصه یا مقادیر اسمی انواع بارهای مؤثر بر سازه‌های فضاکار در فصل چهارم و پیوست ششم به تفصیل ارائه شده‌اند.

۲-۵-۵- مقاومت لازم و ضرایب بار

۱-۵-۲

مقاومت لازم سازه و اجزای آن باید براساس ترکیب بحرانی بارهای ضریب‌دار ذریب‌بر برای حالات حدی نهایی و بهره‌برداری تعیین گردند. ضرایب پاره‌ای بار، در این آیین‌نامه بر دیدگاه‌های شایدهی (احتمال‌اندیشانه) مبتنی بوده و در فصل چهارم ارائه خواهند گردید.

۲-۵-۲

در صورتی که اثرهای ناشی از بارگذاری حاصل از بارهای اسمی نوع i را با Q_i نشان دهیم، ضرایب بار مربوط با γ_i نشان داده می‌شود. بنابراین مقاومت لازم سازه عبارت خواهد بود از:

$$\sum \gamma_i Q_i$$

که از مدل‌سازی و تحلیل سازه تحت تأثیر بارهای اسمی به دست می‌آید. در مسایل خطی، نتایج تحلیل تحت تأثیر کنش i ام را می‌توان مستقلاً محاسبه و با نتایج تحلیل تحت تأثیر کنش‌های دیگر جمع کرد. در مسایل غیرخطی، منظور از علامت \sum فوق‌الذکر، تأکیدی بر اعمال توأم و مبتنی بر ترکیب محتمل کنش‌های قابل اعمال به‌طور همزمان خواهد بود.

۳-۵-۲

در مورد کنش‌های متغیر بسته به نوع و ماهیت کنش و حالت حدی مورد نظر، ضرایب بار به شرح زیر به جای γ_i به کار خواهند رفت.

- γ_{0i} به عنوان ضریب بار ترکیبی در بررسی حالت‌های حدی نهایی و حالات حدی بهره‌برداری برگشت‌ناپذیر.

- γ_{1i} به عنوان ضریب بار تناوبی در بررسی حالت‌های حدی نهایی تحت تأثیر کنش‌های تصادفی و حالات حدی بهره‌برداری برگشت‌ناپذیر ناشی از بارهای متناوب.

- γ_{2i} به عنوان ضریب بار شبه‌دایمی برای بررسی حالات حدی نهایی تحت تأثیر کنش‌های تصادفی و همچنین حالات حدی بهره‌برداری برگشت‌پذیر، آنگاه که نسبت دوره‌ی زمان تجاوز مقدار بار به دوره‌ی زمانی مبنا از ۵۰٪ تجاوز نماید.

مقادیر کمیتهای فوق در فصل چهارم و پیوست ششم این آیین‌نامه ارائه شده‌است.

۲-۶- خواص مصالح

۱-۶-۲

خواص مصالح باید به صورت مقادیر مشخصه ارایه گردند.

۲-۶-۲

هرگاه بررسی حالت حدی نشانگر حساسیت نسبت به تغییرات مشخصه‌های مصالح باشد، لازم است کنترل‌ها براساس مقادیر مشخصه کرانه بالایی و همچنین کرانه پایینی به عمل آید.

۳-۶-۲

مشخصات مکانیکی و متالورژیکی مصالح باید براساس آزمایش‌های استاندارد در شرایط مشخص به دست آید. برای تبدیل نتایج آزمایش‌ها به مقادیری که با حاشیه اطمینان مورد نظر معرف رفتار مصالح سازه یا خاک باشند، لازم است ضرایب تبدیل واقع‌گرایانه‌ای اعمال نمود.

۴-۶-۲

کاهش مقاومت مصالح در اثر خستگی ناشی از اعمال بارهای تکرارشونده، باید از طریق تحلیل، آزمایش یا براساس توصیه‌های آیین‌نامه‌های معتبر ذریبط مصالح در نظر گرفته شوند.

۵-۶-۲

پارامترهای مشخصه سختی (مانند مدول الاستیسیته، ضرایب خزش) و ضرایب انبساط حرارتی و ... معمولاً با مقادیر متوسط بیان می‌گردند؛ مگر آنکه مقادیر کرانه بالایی و پایینی به دلایلی ضرورت بررسی یابند. در مواردی که پارامترها تابع زمان بارگذاری باشند، باید مقادیر متفاوتی را که متناسب با دوره بارگذاری باشد، اختیار نمود.

۶-۶-۲

مقادیر مشخصه و پارامترهای مکانیکی مصالح در فصل چهارم این آیین‌نامه ارایه شده‌است. براساس استاندارد مورد استفاده باید از تطابق مصالح با مشخصه‌های مزبور، اطمینان حاصل گردد.

۷-۶-۲

هرگاه اطلاعات در مورد توزیع آماری خواص مصالح در اختیار نباشد، مقادیر اسمی به عنوان مقادیر مشخصه به کار گرفته می‌شوند یا مقادیر طراحی مشخصات مصالح مستقیماً از طریق آزمایش تعیین می‌گردند.

۸-۶-۲

هرگاه اعمال ضرایب مشخصات مصالح مورد نظر باشد، لازم‌است از مقادیر محافظه‌کارانه‌ای استفاده نمود، مگر آنکه اطلاعات آماری مکفی برای ارزیابی قابلیت اطمینان مقادیر اختیارشده در دست باشد.

۷-۲- داده‌های هندسی

- داده‌های هندسی با مقادیر مشخصه خود ارایه می‌شوند.
- ابعاد هندسی تعریف‌شده در طرح را می‌توان به عنوان مقادیر مشخصه به کار گرفت.
- هرگاه داده‌های هندسی به میزان مکفی در دست بوده و توزیع آماری داده‌ها با سطح اطمینان قابل قبول در اختیار باشد، مقادیر کمیتهای هندسی متناظر با نقطه تعریف‌شده‌ای از توزیع آماری را می‌توان به کار برد.
- نابه‌جایی‌های تصادفی که باید در طراحی اعضای سازه‌های فضاکار در نظر گرفته شوند، در فصل سوم تعریف گردیده‌اند. این امر با فرض آن است که در ساخت سازه‌های فضاکار باید رواداری‌های اجرایی مطابق بخش سوم این آیین‌نامه رعایت شده باشند.
- رواداری‌های اجرایی در تمامی مواردی که در این آیین‌نامه ذکر نگردیده باشند، باید مطابق مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمانی ایران در نظر گرفته شوند.

۸-۲- تحلیل

شیوه تحلیل سازه باید متناسب با ویژگی‌های هندسی و مصالح سازه فضاکار و خصوصیات بارها و کنش‌های مؤثر و بر اساس فرضیات واقع‌گرایانه و قابل دفاع مهندسی سازه و با بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی گویای خواص سازه و شرایط مرزی اختیار گردد؛ به گونه‌ای که رفتار سازه به منظور طراحی از طریق مدل ریاضی با دقت مورد نظر و هماهنگ با شرایط طراحی مربوط و با توجه به حالات حدی تحت بررسی، قابل پیش‌بینی باشد. بر اساس این، نوع، روش و ابزار تحلیل متناسب با شرایط واقعی و معیارهای طراحی اختیار خواهند شد.

۱-۸-۲- اصول مدل‌سازی

۱-۱-۸-۲

در فرایند مدل‌سازی مجموعه سازه، زیرمجموعه‌ها (مدول‌ها) و اعضا و اجزای سازه (اتصالات و پیوندها)، تکیه‌گاه‌ها و تغییرمکان‌های از پیش تعیین‌شده (شرایط مرزی ذاتی)، بارهای وارده و کنش‌های مؤثر (شرایط مرزی طبیعی)، مشخصه‌های مصالح و آثار اجزای غیرسازه‌ای (به طور مستقیم یا غیرمستقیم) باید به نحو مناسبی که اهداف تحلیل را برآورده سازد، مدل‌سازی شوند. روش‌های مدل‌سازی، متناسب با دقت مورد نظر می‌توانند از شیوه‌های ساده‌سازی شده تا روش‌های دقیق‌تر را در برگیرند.

۲-۱-۸-۲

محاسبات سازه باید براساس مدل‌های واقع‌گرایانه‌ای از سازه صورت گیرد که اثر متغیرهای ذیربط در آن در نظر گرفته شده باشد.

۳-۱-۸-۲

مدل‌های سازه باید به نحوی اختیار گردند که برای تخمین رفتار سازه با میزان دقت قابل‌پذیرش، معتبر باشند. مدل‌های سازه همچنین باید در هماهنگی با حالت حدی مورد بررسی اختیار گردند.

۴-۱-۸-۲

مدل‌های سازه باید بر مبنای مفاهیم نظری و عملی تأییدشده مهندسی تهیه گردند. در موارد لازم باید از طریق آزمایش قابلیت مدل در ارزیابی رفتار نزدیک به واقعیت سازه ارزیابی و تأیید گردد.

۲-۸-۲ - تحلیل استاتیکی

در صورتی که آثار ناشی از کنش‌های مؤثر بر سازه (پاسخ سازه) مستقل از زمان باشد یا شتاب ایجادشده در سازه بالنسبه ناچیز باشد، تحلیل سازه به روش استاتیکی کفایت خواهد نمود.

۱-۲-۸-۲

تحلیل استاتیکی بسته به شرایط، نوع سازه، معیارهای طراحی، مشخصه‌های مصالح و ویژگی‌های هندسی به صورت خطی یا غیرخطی انجام می‌گیرد. در تحلیل غیرخطی، رفتار غیرخطی هندسی، رفتار غیرخطی مصالح یا حالت ترکیبی این دو رفتار متناسب با نوع سازه و رفتار مورد انتظار و میزان حساسیت به نوع تحلیل ملحوظ خواهد شد.

۲-۲-۸-۲

مدل‌سازی برای تحلیل سازه تحت تأثیر کنش‌های استاتیکی معمولاً براساس انتخاب رابطه مناسب نیرو و تغییرمکان صورت می‌گیرد. در این رابطه باید مدل‌سازی به‌منظور در برگرفتن اثر رفتار اتصالات و همچنین آثار اندرکنشی بین سازه، شالوده‌ها و خاک صورت گیرد.

۳-۲-۸-۲

آثار جابه‌جایی‌ها و تغییرمکان‌ها در صورتی که منجر به افزایش متزاید و تشدید اثر کنش‌های وارده گردد، باید در بررسی‌های مربوط به حالات حدی (شامل تعادل استاتیکی) ملحوظ گردد.

۴-۲-۸-۲

تحلیل سازه برای حالات حدی بهره‌برداری و همچنین به منظور بررسی آثار ناشی از خستگی پرتواتر می‌تواند در چارچوب رژیم الاستیک خطی صورت گیرد.

۲-۸-۲-۵

کنش‌های غیرمستقیم را می‌توان به شرح زیر در تحلیل در نظر گرفت:

- در تحلیل الاستیک خطی، به طور صریح با اعمال تغییرشکل‌های مربوط یا به صورت نیروهای معادل.
- در تحلیل الاستیک غیرخطی، به طور صریح به صورت اعمال تغییرشکل‌های مربوط.

۲-۸-۳ - تحلیل دینامیکی

در صورتی که آثار ناشی از کنش‌های مؤثر (پاسخ سازه) تابع زمان بوده و زمان به عنوان متغیر کلیدی در تعیین پاسخ سازه ایفای نقش نماید و شتاب ایجادشده در سازه قابل ملاحظه باشد، باید تحلیل سازه به روش دینامیکی انجام شود؛ مگر در مواردی که براساس ملزومات حداقل مندرج در این آیین‌نامه، بهره‌گیری از روش‌های تحلیل استاتیکی معادل مجاز شناخته شده باشد.

۲-۸-۳-۱

تحلیل دینامیکی به روش‌های طیفی و همچنین تاریخچه زمانی در حوزه زمانی یا در محدوده بسامدی صورت می‌پذیرد. در این حالت نیز بسته به جمیع شرایط، معیارهای طراحی و اهداف پروژه، تحلیل باید به گونه‌ای مناسب در رژیم خطی یا غیرخطی (از نظر هندسی، رفتار مصالح یا ترکیبی) انجام گیرد.

۲-۸-۳-۲

در مدل‌سازی به منظور تحلیل آثار کنش‌های دینامیکی، باید مشخصه‌های تمامی اعضای سازه‌ای و اجرام، مشخصه‌های مقاومتی، خواص سختی و میرایی آنها همراه با آثار اجزای غیرسازه‌ای توأم با مشخصات زیربط آنها در نظر گرفته شوند.

۲-۸-۳-۳

در مواردی که اعمال بارهای دینامیکی به صورت معادل استاتیکی قابل پذیرش باشد، اعمال بارهای بخش دینامیکی از طریق شمول در مجموعه بارهای استاتیکی یا با منظورداشتن ضریب بزرگنمایی دینامیکی معادل که بر بارهای استاتیکی اعمال خواهد گردید، در نظر گرفته می‌شوند.

۲-۸-۳-۴

برای در نظرگرفتن اثر اندرکنش خاک-سازه، اثر خاک را می‌توان به صورت قابل قبولی برحسب نوع سازه فضای فضاکار مدل‌سازی کرد. معمولاً آثار اندرکنشی مزبور با بهره‌گیری از سیستم مناسب فنر-میراگر ویسکوز، یا با استفاده از روش‌های مدل‌سازی خاک با اجزای محدود یا روش اجزای مرزی و نظایر آن مورد بررسی قرار داده می‌شود. در این

بررسی حایز اهمیت است که پارامترها و کمیتهای مربوط به خواص مکانیکی و دینامیکی خاک براساس اطلاعات متقن و به طور واقع‌گرایانه‌ای در مدل اعمال گردند.

۵-۳-۸-۲

به منظور تحلیل تحت تأثیر بار زلزله، تحلیل طیفی با فرض رفتار خطی مصالح و هندسی سیستم، در مورد سازه‌های فضاکاری که دارای نظم و تقارن از نظر هندسی، سختی و توزیع جرم باشند، کافی تلقی می‌شود. در مورد دامنه کاربرد روش‌های تحلیل در فصل پنجم به تفصیل معیارهای لازم ارایه شده است. با توجه به ویژگی‌های اکثر سازه‌های فضاکار مشمول این آیین‌نامه، معمولاً مود اساسی به تنهایی برای تحلیل کفایت نمی‌نماید و لذا به طور کلی تحلیل تحت تأثیر بارهای استاتیکی معادل دارای دقت کافی نخواهد بود، مگر در مورد سازه‌های منظمی که مود اساسی در آنها مشخصاً غالب بوده و از نظر میزان مشارکت مودی کافی تلقی شود.

۶-۳-۸-۲

آثار کنش‌های دینامیکی را همچنین می‌توان در موارد زیربط، از طریق تحلیل تاریخچه زمانی در حوزه زمان و یا در دامنه بسامدی تعیین نمود و پاسخ سازه را به روش‌های معتبر تحلیل دینامیکی سازه‌ها به دست آورد.

۷-۳-۸-۲

ملزومات بهره‌برداری را باید از نظر بزرگای دامنه یا حد بسامد قابل‌پذیرش برای ارتعاشات ناشی از اعمال کنش‌های دینامیکی مورد کنترل قرار داد. رهنمودهایی در مورد ارزیابی به منظور عدم تجاوز از حدود قابل‌پذیرش برای سازه‌های فضاکار از انواع گوناگون در فصل سوم ارایه گردیده است.

۴-۸-۲ - تحلیل پایداری

پایداری مجموعه سازه فضاکار و همچنین اعضا و اجزای تشکیل‌دهنده آن باید با سطح اطمینان مکفی تأمین گردد. به منظور ارضای معیارهای حالات حدی نهایی مرتبط با پایداری، تحلیل مجموعه سازه از دیدگاه پایداری صورت می‌گیرد. در چنین تحلیلی باید آثار ناشی از اندرکنش بارها و تغییرمکان سازه به طور توأم در نظر گرفته شود. در تحلیل پایداری باید مودهای متفاوتی از قبیل کمانش کلی و موضعی عضو، ناپایداری گرهی، ناپایداری‌های کلی و موضعی مورد بررسی قرار داده شوند.

بسته به نوع کنش‌های مؤثر و گونه ناپایداری و نحوه گسترش آن، تحلیل پایداری می‌تواند به روش استاتیکی یا دینامیکی صورت گیرد.

۲-۸-۵- تحلیل آثار ناشی از آتش‌سوزی

۲-۸-۵-۱

تحلیل به منظور طراحی در مقابل آثار آتش‌سوزی باید شامل مدل‌سازی آثار ناشی از آتش‌سوزی در شرایط و مواضع محتمل باشد. در مدل‌سازی به این منظور باید آثار تابع دمای مصالح و سازه و رفتار مکانیکی سازه در دمای زیاد براساس استانداردهای معتبر و ملزومات مندرج در فصل سوم این آیین‌نامه پیش‌بینی شده باشد.

۲-۸-۵-۲

عملکرد سازه در معرض آتش‌سوزی باید از طریق تحلیل کلی مجموعه سازه، تحلیل زیر مجموعه‌های سازه و عناصر آن و با توجه به داده‌های موجود در منابع معتبر در این زمینه و یا نتایج آزمایش مورد بررسی قرار داده شود و کفایت سازه برای عملکرد به ثبوت رسد.

۲-۸-۵-۳

مدل‌سازی حرارتی می‌تواند بسته به شرایط با فرض دمای یکسان و یا متغیر در مقطع و در طول اعضا انجام شود.

۲-۸-۵-۴

تحلیل باید برای مطالعه رفتار اعضای منفرد و همچنین با در نظر گرفتن اثر اندرکنش اعضا و اجزای در معرض آتش‌سوزی و مجموعه سازه انجام گیرد.

۲-۸-۵-۵

مدل‌سازی و تحلیل رفتار مکانیکی اعضای سازه‌ای در دمای زیاد باید به نحوی صورت گیرد که عملکرد غیرخطی سازه فضاکار در معرض آتش‌سوزی قابل ارایه و بررسی باشد.

۲-۹- مقاومت در مقابل گسیختگی پیش‌رونده

مجموعه سازه باید برای حالت حذف اعضا و گره‌ها به شرح زیر کنترل گردد تا اطمینان حاصل شود که گسیختگی پیش‌رونده در اثر عدم عملکرد یا حذف این عناصر اتفاق نخواهد افتاد:

الف) گسیختگی یا شکست هر عضو کششی،

ب) شکست پیچ شامل شکست برشی در محل رزوه پیچ تحت تأثیر کشش،

پ) کماتش هر عضو فشاری،

ت) حذف هر گره دلخواه و مجموعه اعضای منتهی به آن.

در این حالت ضرایب پاره‌ای بار و ضرایب پاره‌ای مقاومت مطابق فصل چهارم اختیار می‌گردند.

۲-۱۰-۱- مبانی شایدهی (احتمال‌اندیشانه) طراحی

۲-۱۰-۱-۱- مفاهیم پایه

۲-۱۰-۱-۱-۱

دیدگاه کلی در این آیین‌نامه از طریق فرمول (۲-۱) تبیین می‌شود:

$$\sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad (۲-۱)$$

که در آن $\sum \gamma_i Q_i$ در (۲-۵) تعریف شده است و بقیه کمیت‌ها به شرح زیر تعریف می‌شوند:

R_n مقاومت اسمی

ϕ ضریب مقاومت مرتبط با R_n

ϕR_n مقاومت طراحی

۲-۱۰-۱-۲

سمت چپ نامعادله (۲-۱) مقاومت مورد نیاز می‌باشد که براساس مفروضات بارگذاری، مدل‌سازی واقع‌گرایانه و روش تحلیلی مبتنی بر مبانی نظری قابل دفاع تعیین شده است. سمت راست نامعادله، ظرفیت حدی عضو یا جزء سازه‌ای را ارائه می‌دهد. به عبارت دیگر، آثار ناشی از بارهای افزایش یافته از طریق اعمال ضرایب بار با مقاومت (طراحی) عضو سازه، که با ضریب ϕ کاهش یافته است، مقایسه می‌گردد و ارضای نامعادله (۲-۱) به منزله اکتان معیار پذیرش تلقی خواهد شد.

۲-۱۰-۱-۳

در این آیین‌نامه فرض بر آن است که آثار حاصل از کنش‌ها و همچنین مقاومت اعضا و اجزای سازه فضاکار متغیرهای تصادفی می‌باشند که با توزیع نرمال (زنگدیس) قابل ارائه خواهند بود.

۲-۱۰-۱-۴

فلسفه طراحی به روش ضرایب پاره‌ای بار و مقاومت مبتنی بر آن است که تابع توزیع مقاومت R را از تابع توزیع آثار ناشی از اعمال کنش‌های Q به نحوی دور کنند که ناحیه‌ای که در آن آثار ناشی از کنش‌ها از مقاومت افزون‌تر گردد، به میزان قابل‌پذیرشی کوچک باشد.

۵-۱-۱۰-۲

در صورتی که $\sigma_{(R-Q)}$ انحراف معیار تابع توزیع $(R - Q)$ باشد:

$$\sigma_{(R-Q)} = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2} \quad (۲-۲)$$

که در آن σ_Q و σ_R به ترتیب عبارت‌اند از مقادیر انحراف معیار متناظر با توابع توزیع Q و R .

۶-۱-۱۰-۲

شاخص قابلیت اطمینان به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\beta = \frac{R_m - Q_m}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}} \quad (۳-۲)$$

که در آن R_m , Q_m مقادیر متوسط R و Q می‌باشند.

۷-۱-۱۰-۲

در هر دو مورد آثار ناشی از کنش‌ها و همچنین مقاومت، علاوه بر مقادیر متوسط، مقادیری را که در مورد مقاومت کمتر از R_m و در مورد آثار ناشی از کنش‌ها، بیشتر از Q_m می‌باشند، به ترتیب با R_n و Q_n نشان می‌دهند که عبارتند از مقادیر اسمی کمیت‌های مزبور. مقادیر اخیرالذکر به عنوان مقادیر آثار ناشی از بارها و مقاومت طراحی در محاسبات منظور می‌گردند. در این حالت با تعریف λ به صورت:

$$\lambda = \frac{R_m}{R_n} \quad (۴-۲)$$

و حل رابطه (۳-۲) برای R_m :

$$R_m = Q_m + \beta \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2} = \lambda R_n \quad (۵-۲)$$

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \Rightarrow R_n \geq \frac{1}{\phi} \sum \gamma_i Q_i \quad (۶-۲)$$

$$Q_m + \beta \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2} \geq \frac{\lambda}{\phi} \sum \gamma_i Q_i \quad (۷-۲)$$

لذا ضریب مقاومت باید نامعادله (۸-۲) را ارضا نماید:

$$\phi \geq \frac{\lambda \sum \gamma_i Q_i}{Q_m + \beta \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}} \quad (۸-۲)$$

۸-۱-۱۰-۲

ضرایب پاره‌ای بار برای انواع کنش‌ها و ترکیبات کنش‌ها و همچنین ضرایب پاره‌ای مقاومت برای انواع اعضا و تلاش‌ها در فصل چهارم ارائه گردیده‌اند.

۹-۱-۱۰-۲

با توجه به ویژگی‌های سازه فضاکار از نظر شکل‌پذیری، درجه نامعینی و میزان اهمیت، دیدگاه کلی این آیین‌نامه به نحو زیر تدقیق می‌گردد:

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_{in} \leq \phi R_n = R_R \quad (9-2)$$

که در آن

$$\eta_i = \eta_D \cdot \eta_R \cdot \eta_I \geq 0.95$$

برای بارهایی که در مورد آنها حداکثر مقدار γ_i ذیربط خواهد بود.

$$\eta_i = \frac{1}{\eta_D \cdot \eta_R \cdot \eta_I} \leq 1.0$$

برای بارهایی که در مورد آنها حداقل مقدار γ_i مصداق خواهد داشت.

Q_{in} عبارت است از مقدار اسمی اثر ناشی از کنش I

R_R مقاومت طراحی (مقاومت با اعمال ضریب کاهش)

η_D ، η_R و η_I به ترتیب عبارت‌اند از ضرایب مرتبط با شکل‌پذیری، درجه نامعینی و میزان اهمیت سازه.

مفاهیم طراحی مبتنی بر حالات حدی در چارچوب مبانی فلسفی ارائه‌شده در این فصل، در فصل چهارم و پیوست ششم این آیین‌نامه با جزییات و با دیدگاه تجزیه ضرایب پاره‌ای کنش‌ها و مقاومت گسترش داده شده‌است و رهنمودهای لازم در مورد مقادیر ضرایب پاره‌ای بار و مقاومت برای سازه‌های فضاکار ارائه گردیده است.

۳

عوامل و بارهای مؤثر بر سازه

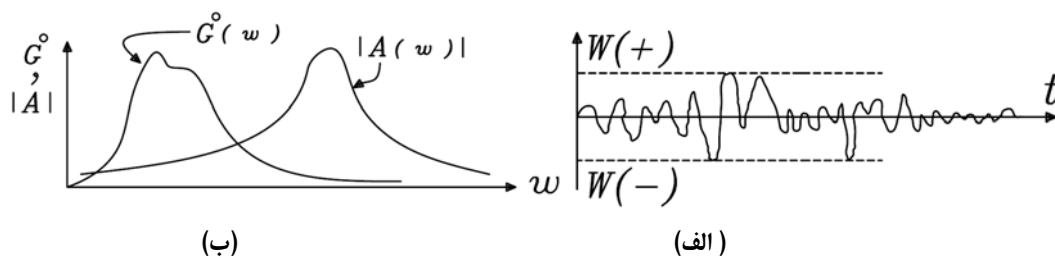
۳-۱-۱- کلیات

۳-۱-۱-۱- مقدمه

۳-۱-۱-۱-۱- بارهای دارای منشأ بیرونی

اصطلاح کنش‌های بیرونی بر بارهایی اطلاق می‌شود که دارای منشأ بیرونی نسبت به سازه می‌باشند که شامل آثار ناشی از تغییرات دما و تغییر مکان‌های اعمالی مانند نشست تکیه‌گاه‌ها نیز می‌گردند.

تفسیر- به منظور دستیابی به نتایج قابل بهره‌گیری، این کنش‌ها را باید حتی‌المقدور به نحوی مدل‌سازی کرد که تنها آن بخش از خصوصیات کنش‌ها که بر پاسخ سازه اثر گذار می‌باشند، در مدل وارد گردند. بنابراین مدل مورد نظر وابسته به مشخصات کنش‌های بیرونی و همچنین خود سازه می‌باشد و در بسیاری از موارد، تبعیت کامل از تمامی خصوصیات کنش‌های مزبور با در نظر گرفتن تمامی بجزئی‌های مربوطه، مورد لزوم نمی‌باشد. به عنوان مثال، برای مقاصد طراحی سازه‌های فضاکار مشمول این آیین‌نامه یک نیروی متناوب $W(t)$ با دامنه متغیر مطابق شکل ۳-۱-۱-الف) با چگالی طیفی $G^0(\omega)$ نشان داده شده در شکل ۳-۱-۱-ب) را در بسیاری از موارد می‌توان تنها با مقادیر حداکثر و حداقل $W(+)$ و $W(-)$ قابل وقوع در عمر قابل انتظار سازه توصیف نمود. از جمله مواردی که روش فوق در آن سودمند نیست، اثر بارگذاری متناوب منجر به خستگی می‌باشد. همچنین نباید بسامدهای مسلط ارتعاش آزاد سازه، در ارتباط با مقادیر حداکثر تابع پاسخ بسامدی سازه، $A(W)$ ، در محدوده‌ای که در آن $G^0(\omega)$ قابل ملاحظه است، قرار گیرد.



شکل ۳-۱-۱

۳-۱-۱-۲- مدل‌های کنش‌های بیرونی

این مدل‌ها حاصل ترکیبی از مشاهدات، دیدگاه‌های مهندسی و تجربه می‌باشند و مدل سازه را با آثار محیطی در بر می‌گیرند. در واقع حالت سازه و خواص مکانیکی آن، در هر زمان تابع تاریخچه و محیط اعمال بار است و در نتیجه نسبت به زمان و مکان تغییر می‌نمایند. ساده‌سازی مدل عمدتاً در ایده‌آل‌سازی بارها - به نحوی که ارایه خواهد شد - در جهت محدود نمودن تعاریف و توصیفات کلی به گونه‌های ساده و قابل تفکیک می‌باشد، به نحوی که از طریق انتقال اطلاعات حتی‌المقدور ساده شده، نیات این آیین‌نامه نیز برآورده گردد. پارامترهای نمایش دهنده کنش‌های بیرونی را ماهیتاً نمی‌توان صرفاً با اعداد یا توابع تعیینی ارایه نمود.

در مورد مقادیر اسمی، مثل آنچه در آیین‌نامه‌های بارگذاری ارایه می‌گردند، این مقادیر باید حاصل تحلیل آماری فرایندی تصادفی باشند و بهترین آگاهی از ماهیت بارهایی که احتمالاً بر سازه اعمال خواهند شد، تنها از طریق مطالعات مبتنی بر دیدگاه‌های احتمال‌اندیشانه قابل کسب است.

۳-۱-۱-۳- کنش‌ها و شرایط مؤثر

اولین دسته از کمیت‌های مؤثر ناشی از کنش‌هایی می‌باشند که با محیط بارگذاری ظاهری سازه مرتبط بوده و مستقل از مشخصات سازه فرض می‌گردند.

تفسیر- به عنوان مثال، می‌توان موارد زیر را بر شمرد:

(۱) - شدت بار (گسترده یکنواخت) ناشی از نوع اشغال طبقات

(۲) - شتاب حداکثر زمین در یک زمین‌لرزه

(۳) - سرعت میانگین باد در یک بازه زمانی

به عبارت دیگر، این کنش‌های محیطی مستقل از ویژگی‌های مکانیکی سازه محسوب گردیده و به طور کلی برای تعیین مقادیر اسمی کمیت‌های نمایشگر این کنش‌ها در یک بازه زمانی، بسته به ویژگی‌های کنش و اهمیت و نوع کاربری سازه، یکی از دو روش زیر را به کار می‌گیرند:

(الف) - مقادیر میانگین کمیت مورد نظر معمولاً با ملحوظداشتن مقادیر انحراف معیار

(ب) - مقادیر بیشینه کمیت

این مقادیر عمدتاً شامل ابعاد زمان و فضا در مقیاس بزرگ (درشت نمود) می‌گردند. لذا این کنش‌ها در مقیاس عمر سازه و در ابعادی به مراتب بزرگ‌تر و فراگیرتر از ابعاد سازه بیان و بررسی می‌گردند. دسته دوم کمیت‌ها آثار متقابل بار و سازه را توصیف می‌نمایند.

تفسیر- مثال‌هایی از این دست عبارت‌اند از:

ضریب کاهش بار زنده

طیف پاسخ در یک بارگذاری زلزله

ضریب وزش باد

کمیت‌های منعکس‌کننده آثار اندرکنشی بار و سازه وابسته به پارامترهای ظاهری سازه، از قبیل پی‌ریز بنیادین ارتعاش طبیعی سازه یا ابعاد ظاهری بیرونی آن می‌باشند. در این حالت، خصوصیات زمانی و مکانی محیط بارگذاری، در مقیاس مقادیر واقعی کمیت‌های ذیربط بیان می‌گردند.

دسته سوم کمیت‌ها، پاسخ واقعی سازه را تحت اثر الگویی از بارگذاری اعمالی ملحوظ می‌دارند.

۳-۱-۱-۴- بارگذاری و تحلیل

روش تحلیل معمولاً مرتبط با نوع بارگذاری و در عین حال تابع مشخصات مکانیکی تفصیلی سازه خواهد بود. مقیاس فضایی در همان حدودی است که ابعاد و خواص مقاطع اعضای سازه‌ای با آن مقیاس بیان می‌گردند. در شرایطی که آثار دینامیکی بارها یا رفتار وابسته به تغییر شکل سازه مورد مطالعه باشند، از تغییرات زمانی کوتاه مدت و بلند مدت بار نباید صرف‌نظر نمود.

۳-۱-۱-۵- مفاهیم ضرایب ایمنی

نظریهٔ همساز ایمنی سازه‌ها بر مبنای روش‌های احتمال‌اندیشانه پی‌ریزی شده است که شالودهٔ فلسفی مفاهیم حاکم بر این آیین‌نامه خواهد بود، با این وجود، به ویژگی‌های کاربردهای عملی در روش‌های معمول مهندسی نیز بهای لازم داده شده است. در این آیین‌نامه ضرایب ایمنی، به صورت ضرایب بار و مقاومت منظور می‌گردند.

تفسیر- با علم به اینکه تعیین چنین ضرایبی، ماهیتاً تجربی بوده است و از طریق روش‌های در برگیرندهٔ پیچیدگی‌های ریاضی مفاهیم کلی تئوری سازه‌ها و نتایج عددی حاصل از روش‌های نوین رایانه‌ای حاصل نگردیده است، می‌توان انتظار داشت که این ضرایب در مواردی با چنین نتایجی همخوانی اندکی داشته باشند.

۳-۱-۲- مدل‌ها و کمیت‌های نمایشگر آثار اندرکنش بار و سازه

با توجه به مفاهیم مندرج در پیوست ۶الف، کمیت‌هایی که به صورت کمیت‌های ورودی سیستم (کنش‌های ورودی) یا کمیت‌های مرتبط با مشخصات سیستم (ویژگی‌های هندسی، هم‌بندی، مشخصات مصالح، شرایط مرزی ذاتی و غیره) به طور تفکیک‌پذیر قابل طبقه‌بندی نمی‌باشند، تحت عنوان کمیت‌های اندرکنشی بار و سازه ملحوظ می‌گردند.

تفسیر- بنابراین تا آنجا که بتوان ویژگی‌های اندرکنش را قبل از دانستن جزئیات مشخصات سیستم سازه تعریف نمود، تحلیل تفصیلی سازه را می‌توان بدون ملحوظ داشتن منشأ ایجاد بار و گاه با اجتناب از تکرارهای متوالی، به سرانجام رساند. بنابراین محیط بارگذاری ظاهری را گاه می‌توان بدون ملحوظ داشتن ویژگی‌های سازه فضاکار مورد مطالعه قرار داد. در موارد قابل ملاحظه دیگری، این اثر اندرکنش حایز اهمیت ویژه بوده و تابع خواص پاسخ اندرکنشی سازه است و در این حالت باید آثار اندرکنش را در مدل‌سازی و تحلیل منظور نمود. این حالات در شرایطی که در آن آثار اندرکنشی قابل صرف‌نظر کردن نباشند، در این آیین‌نامه مورد بحث قرار داده شده و شیوهٔ ملحوظ‌نمودن این آثار در فرایند بارگذاری، تحلیل و طراحی ارایه خواهند گردید.

۳-۱-۳- دسته‌بندی کنش‌ها

تفسیر- به طور کلی، توصیف بارها، شامل مجموعه‌ای از اطلاعات از قبیل نحوه توزیع فضایی و میزان شدت نیروها (بزرگی نیروها)، نرخ تغییرات در مکان یا شدت، نحوه وابستگی به فعالیت‌های انسان یا کاربرد تجهیزات و ماشین‌آلات، محدوده زمانی عملکرد فعال و نظایر آن، می‌گردد. در اغلب موارد، تمامی اطلاعات از این دست ضروری نمی‌باشند. به منظور مشخص نمودن میزان دقت و میزان توجه به جزئیات، معمولاً تلاش به عمل می‌آید تا طبقه‌بندی مناسبی از کنش‌ها صورت گیرد، که در آن برای هر طبقه، خصوصیات مسلط در مدل تعریف می‌گردد. پس از آن که کنشی در یک یا چند رسته طبقه‌بندی شد، خصوصیات مهم آن در چارچوب ویژگی‌های آن طبقه‌بندی تعیین می‌گردند.

نمونه‌هایی از دسته‌بندی کنش‌ها

یک نوع ممکن از دسته‌بندی کنش‌ها را می‌توان به صورت زیر ارایه داد:

الف - کنش‌های استاتیکی (یا شبه‌استاتیکی): این کنش‌ها بدون ایجاد شتاب قابل ملاحظه به سازه اعمال می‌گردند.

ب - کنش‌های دینامیکی: این کنش‌ها باعث اعمال شتاب‌های قابل ملاحظه، در اثر تغییرات قابل اعتنای کنش‌ها نسبت به زمان می‌گردند که قابل مقایسه با پریود بنیادین سازه می‌باشند.

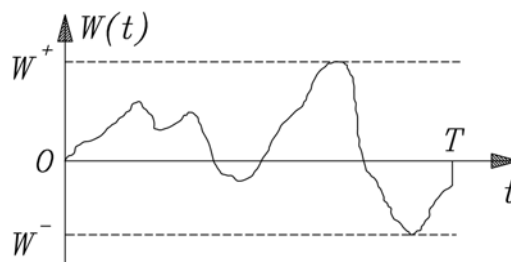
پ - کنش‌های دایمی: که در تمام طول عمر مفید سازه، بدون آنکه در بزرگی و شدت آنها تغییر قابل اعتنایی حاصل گردد، به صورت فعال حضور دارند.

- ت - کنش‌های تابع زمان: این کنش‌ها شدت‌های متغیر و متفاوتی را در لحظات متفاوت خواهند داشت.
- ث - کنش‌های کوتاه مدت: این کنش‌ها در بازه زمانی بسیار کوتاه‌تر از عمر مفید سازه بر آن اعمال می‌گردند.
- ج - کنش‌های دراز مدت: این کنش‌ها در حیطه زمانی قابل قیاس با عمر مفید سازه اعمال می‌گردند.
- چ - کنش‌های استثنایی: این کنش‌ها در ارتباط با وقوع حوادث نادر اعمال می‌گردند.
- ح - کنش‌های ثابت: این کنش‌ها با توزیع فضایی مستقل از زمان اعمال می‌گردند.
- خ - کنش‌های آزاد: این کنش‌ها دارای توزیع فضایی متغیر می‌باشند.

تفسیر- هر یک از گروه‌های فوق، تلویحاً بر اطلاعاتی دلالت دارند که به منظور تحلیل قابلیت اطمینان ضروری می‌باشند. به عنوان مثال، بار باد وارده بر یک سازه سخت را می‌توان در گروه‌های الف، ت، ث، خ طبقه‌بندی نمود، ولی همان نوع بار باد وقتی بر یک سازه انعطاف‌پذیر اعمال گردد، متعلق به گروه‌های ب، ت، ث و خ خواهد بود زیرا در این حالت، آثار دینامیکی قابل چشم‌پوشی نیستند. در حالت نخست، شدت فشار باد از طریق مقدار حداکثر یا مقدار متوسط در هر حالت اعمال بار قابل تعریف است؛ به طوریکه در محاسبات، بزرگ‌ترین مقادیر در تمامی حالات محتمل اعمال باد، ملاک محاسبات خواهد بود. نحوه توزیع بار باد نیز باید مشخص گردد. به عنوان مثال لازم است که پروفیل بار باد مشخص شود. در حالت دوم، بار باد را نمی‌توان فقط با مقدار حداکثر ممکن تعریف نمود، زیرا تغییرات زمانی آن را باید در نظر داشت.

مجموعه‌ای از اطلاعات در چارچوب مطالعات احتمال‌اندیشانه، برای هر گروه از کنش‌های مذکور در فوق حایز اهمیت خواهد بود. در وهله اول، بارهایی را در نظر می‌گیریم که تنها با یک پارامتر $W = W(t)$ مشخص می‌گردند. گروه‌های متفاوت کنش‌ها، براساس طبقه‌بندی مذکور در فوق، به شرح زیر قابل توصیف‌اند:

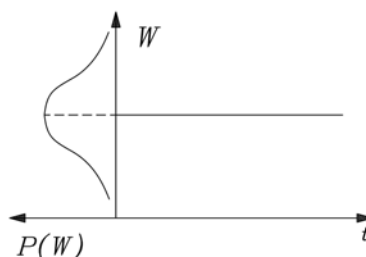
(الف) کنش‌های استاتیکی: در این حالت $W(t)$ یک فرایند تصادفی؛ مانند شکل ۲-۳ بوده، و به طور کلی، تنها تابع چگالی احتمالی مقادیر حداکثر و حداقل آن در محدوده زمانی $(0, T)$ مورد نظر است. T عبارت است از عمر مفید طراحی سازه (یا به عبارت کامل‌تر، عمر مفیدی که در مرحله طراحی برای سازه در نظر گرفته شده است).



شکل ۲-۳

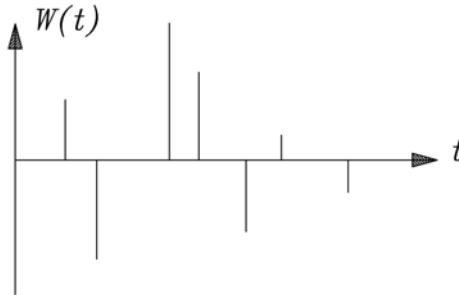
(ب) کنش‌های دینامیکی: $W(t)$ یک فرایند تصادفی می‌باشد. در حالات کلی، توصیف نسبتاً کاملی از فرایند مورد لزوم خواهد بود.

(پ) کنش‌های دایمی: $W(t)$ متغیری تصادفی می‌باشد که به طور کامل از طریق یک تابع چگالی احتمالی $P(W)$ قابل توصیف است (شکل ۳-۳).



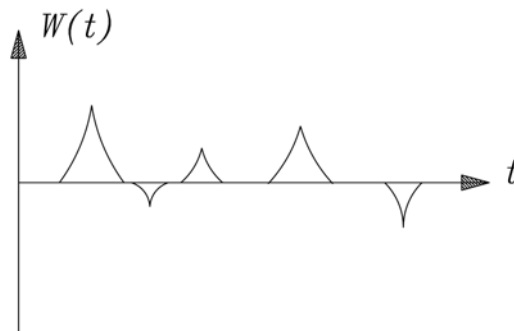
شکل ۳-۳

(ت) کنش‌های تابع زمان: اغلب، حتی اگر کنش بیرونی آثار دینامیکی در بر نداشته باشد، توصیف صرف آن از طریق مقادیر حداکثر و حداقل (آنچنان که در مورد کنش‌های استاتیکی ذکر گردید)، کافی نمی‌باشد. به عنوان مثال، ممکن است لازم تشخیص داده شود که احتمال وقوع و اعمال بارهایی متجاوز بر بار معینی به منظور ترکیب با سایر بارها یا انباشتگی خسارات محتمل، مورد مطالعه قرار داده شود. در این حالت نیز توصیف نسبتاً کاملی از فرایند، بسته به نوع مسأله مورد مطالعه، ضروری خواهد بود. در موارد بسیاری، کنش‌های تابع زمان، ماهیتاً فرایندهای منفصل (مانند شکل ۳-۴) می‌باشند. در این حالات، معمولاً از طریق فرایند زمان اعمال بار و خواص بار اعمالی توصیف می‌گردند و آثار دراز مدت و کوتاه مدت بارها از یکدیگر تمیز داده می‌شوند.



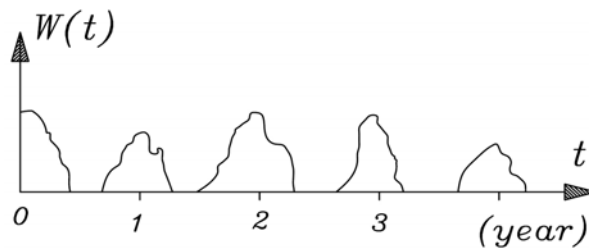
شکل ۳-۴

(ث) کنش‌های کوتاه مدت: $W(t)$ فرایندی منفصل و احتمالاً تکرارشونده است. توصیف فرایند وقوع و اعمال بار باید پارامترهای اصلی بار (از قبیل شدت و طول مدت و نظایر آن) را شامل گردد (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵

(ج) کنش‌های دراز مدت: $W(t)$ یک فرایند پیوسته یا ناپیوسته است که پس از اعمال بار، دارای تغییرات زمانی نسبتاً بطی می‌باشد (به عنوان مثال بار برف در ناحیه خاص، مانند شکل ۳-۶). علاوه بر پارامترهای اصلی همانند کنش‌های کوتاه مدت، اطلاعات مربوط به تغییرات زمانی بار نیز باید مشخص گردد.



شکل ۳-۶

(ج) کنش‌های استثنایی: در موارد کاربرد عملی، اطلاعات مربوط به احتمال وقوع چنین بارهایی مورد نیاز می‌باشد. معمولاً به دلیل عدم در اختیار داشتن اطلاعات کافی، شدت بار از طریق یک مقدار اسمی بیان می‌گردد.

(ح) کنش‌های ثابت: قبل از توصیف شدت بار، در این حالت ممکن است لازم باشد که قوانین احتمالاتی متغیرهای تصادفی معرف موقعیت اعمال بار مورد بررسی قرار داده شوند.

(خ) کنش‌های آزاد: $W(t)$ یک حوزه تصادفی است و توصیف آن در ارتباط با وابستگی به مختصات فضایی، علاوه بر توصیف آن در ارتباط با زمان مورد لزوم می‌باشد.

۲-۳- بارهای وارده بر سازه فضاکار

۲-۳-۱- بارهای ثقلی

بارهای ثقلی به طور معمول در دو گروه اصلی بارهای مرده (یا دایمی) و بارهای زنده طبقه‌بندی می‌شوند. بارهای برف به لحاظ وابستگی به شرایط جوی اگرچه به طور ذاتی از نوع بارهای ثقلی می‌باشند، در این آیین‌نامه به نحو جداگانه مورد بحث قرار داده شده‌اند. بارهای زنده به طور کلی شامل وزن اثاثیه، انسان‌ها، تجهیزات و نظایر آن می‌گردند. برخلاف سایر بارها مثل بارهای ناشی از زلزله و باد، بارهای زنده را می‌توان تا حدودی تحت کنترل داشت. بارهای زنده فرایندهای تصادفی می‌باشند که تابع متغیرهای معرف زمان و مکانند.

دسته‌بندی بارهای ثقلی

۲-۳-۱-۱- بارهای مرده

بارهای مرده تمامی بارهای ثقلی (وزن) سازه فضاکار، اعضا و اجزای سیستم باربر، سازه‌های کف‌ها و سقف‌ها، کف‌سازی، نازک‌کاری، سقف‌ها و کف‌های کاذب، تیغه‌های دایمی، دیوارهای بیرونی و درونی، نماسازی، پوشانه‌ها و تمامی تجهیزات و وسایلی را که در موقعیت ثابت به صورت دایمی استقرار می‌یابند، دربر می‌گیرد. بارهای مرده همواره به صورت مقادیر تصادفی ثابت اعمال می‌گردند. در آیین‌نامه‌های ساختمانی گوناگون معمولاً جدولی که ارایه‌دهنده فهرستی از مصالح مورد استفاده در سازه و همچنین اجزای غیرسازه‌ای متداول است، همراه با وزن مخصوص یا وزن بر واحد سطح مربوطه، در این ارایه می‌گردند. در این زمینه برای مصالح ساختمانی متداول باید به استاندارد ۵۱۹ و مبحث ششم مقررات ملی ساختمانی ایران مراجعه گردد.

۲-۳-۱-۱-۲- محاسبه مقادیر بارهای مرده

محاسبه وزن مرده در سازه‌های متعارف امر پیچیده‌ای نیست. معذک با توجه به تغییرات وزن مخصوص مصالح و ابعاد اجزای سازه‌ای، معمولاً تنها مقادیر تقریبی به دست‌آمده، مورد بهره‌برداری قرار داده می‌شوند. همچنین حایز اهمیت خواهد بود که حتی‌المقدور، تمامی اقلام و از جمله پوشانه‌ها و اجزای نگهدارنده آنها و در مورد اعضای دارای مخروطی انتهایی، وزن قطعات انتهایی و در مورد سیستم‌های متشکل از اعضا و پیوندهای فضاکار، وزن اعضا، پیوندها و ادوات اتصال به نحو واقع‌گرایانه‌ای در محاسبات در نظر گرفته شوند.

۳-۲-۱-۱-۲- تغییرات بارهای مرده

تمایل زیادی بین مهندسان سازه وجود دارد که بارهای مرده را کاملاً دانسته فرض نمایند. معذک در عمل، تفاوت‌هایی بین مقادیر محاسباتی و مقادیر اندازه‌گیری شده وجود خواهد داشت. لذا به نظر می‌رسد که درک عمیق امر به منظور محاسبه مقادیر نزدیک‌تر به مقادیر واقعی جهت کاهش میزان خطا در احتساب و تخمین بارهای مرده ضروری باشد. به عبارت دیگر، تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر اسمی بارهای مرده، متغیری تصادفی است.

در طراحی سازه‌های فضاکار که معمولاً به دلیل ویژگی‌های مرتبط با فرم و پیچیدگی‌های هندسی و هم‌بندی، ممکن است حدس اولیه طرح با یک طرح نهایی قابل دفاعی از دیدگاه فنی و اقتصادی فاصله قابل‌اعتنایی داشته باشد. لازم است فرایند تکرار در هر مرحله از فرایند تحلیل، کنترل، اصلاح طرح تا نیل به طرح منطقی یا بهینه، با قیود معین، آنچنان دنبال گردد تا در هر مرحله از اصلاح طرح، بارهای مرده نیز متناظر با تغییرات مقاطع و نوع اعضا و ابعاد و نوع پیوندها و یا تغییر فرم و چگالی طرح تغییر داده شوند و همان گونه که در هر مرحله از این فرایند، خواص سختی طرح اصلاح شده در ماتریس سختی بهنگام‌شده اصلاح و در محاسبات منظور می‌گردد، در هر مرحله از فرایند طراحی و تحلیل مجدد طرح اصلاح شده، ضرورت اصلاح بارگذاری بارهای مرده را نیز نباید از نظر دور داشت. به عبارت دیگر، با توجه به موارد مذکور در فوق و اهمیت بار مرده در طراحی سازه‌های فضاکار پوشاننده دهانه‌های وسیع فاقد ستون‌های میانی، باید توجه داشت که در طرح نهایی، بار مرده متناظر با آن برای تحلیل و طراحی منظور گردیده باشد. در سازه‌های فضاکار شبکه‌ای بار اعضا را می‌توان در طول عضو به طور گسترده (وزن در واحد طول) و بسته به نوع اتصال بار پیوندها، قطعات انتهایی و ادوات اتصال را به طور متمرکز در گره‌ها اعمال نمود. در مورد گنبد‌ها و چلیک‌هایی که در امتداد نصف‌النهاری فاصله گره‌های آنان تغییر می‌نماید، در تعیین بارهای متمرکز معادل ناشی از سازه و پوشانه‌ها باید آثار تغییرات فاصله مزبور را در محاسبه نیروهای ناشی از بارهای مرده در نظر گرفت.

تفسیر- همچنین است تعریف نحوه توزیع جرم سازه به صورت اجرام متمرکز شده در گره‌ها که باید با توجه به سهم بار گیر گره‌های شبکه فضاکار، در تحلیل مقادیر و بردارهای مشخصه، تحلیل طیفی و تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی سازه فضاکار منظور گردد. در سازه‌های متعارف، یکی از روش‌های مناسب و تقریبی به منظور ملحوظ‌داشتن آثار متغیر بودن بارهای مرده آن است که شدت بار نسبتاً کم‌تری را برای آن به طور تعیینی در نظر گرفته و ازدیاد بار متغیر را به صورت بار زنده و با ضرایب پاره‌ای مرتبط ملحوظ دارند.

وزن سازه معمولاً به دلایل زیر تغییر می‌نماید:

الف - تغییرات درصد رطوبت مصالح به دلیل خشک‌شدن، بارش باران، تخریب، وقوع سیل و تغییرات شیمیایی مصالح سازه و پوشانه‌ها.

ب - در ارتباط با سازه‌های موجود، تغییرات سازه‌ای مانند افزودن طبقات یا جایگزینی بخشی از سازه یا پوشانه آن با مصالح جدید؛ همچنین تغییرات در کف‌سازی و نازک‌کاری سطوح کف و دیوارها و پوشانه‌ها و افزودن یا برداشتن سقف‌ها و کف‌های کاذب، افزودن تیغه‌ها جهت جداسازی فضاها یا برداشتن تیغه‌های موجود جهت تجمیع فضاها. در مورد چنین تغییراتی باید مطالعات توجیهی و امکان‌سنجی به عمل آید و در صورتی که پاسخ مثبت از مطالعات مزبور حاصل گردد، باید آثار ناشی از اعمال تغییرات در سازه موجود، در حین فرایندهای عملیاتی اجرای تغییرات و در حالت سازه تغییر یافته، صرفاً توسط مهندسان مجرب آشنا به مفاهیم طراحی و ساخت و بهسازی سازه‌های فضاکار بررسی و در صورت نیاز به بهسازی سازه موجود قبل از اقدام به اعمال تغییرات مورد نظر، تمامی مطالعات و عملیات اجرایی تحت سیستم کنترل کیفیت کارا صورت گیرد.

علاوه بر آن، برخی از منابع دیگری که باعث بروز تغییراتی در مقادیر بارهای مرده می‌گردند و لازم است به عنوان کنش‌های کاهش‌دهنده دقت طراحی، ملحوظ گردند، به شرح زیر می‌باشند:

احجام به طور دقیق مشخص نمی‌باشند؛ بلکه تخمین‌زده می‌شوند. به عنوان مثال در مورد سازه‌های فضاکار مختلط با قشر بتنی پوشانه فوقانی در ضخامت این قشر رواداری‌هایی وجود دارد. حال آنکه معمولاً بارها بر اساس ابعاد منظور شده در طراحی، بدون ملحوظ‌داشتن رواداری‌های اجرایی محاسبه می‌گردند. در ارتباط با این امر لازم خواهد بود در مرحله اعمال ضریب بار مناسب، تدابیری اندیشیده شود تا ضرایب بارهای مرده مزبور شامل احتمال تغییر در ابعاد آنها نیز باشند. در حالت عضوی که ابعاد مقطعش کوچک‌تر از مقادیر اسمی اختیار شده در طراحی باشد، این امر معمولاً منجر به کاهش مقاومت عضو خواهد گردید. بخشی از این اشکال با توجه به محاسبه مقادیر بزرگ‌تر بار مرده عضو از مقادیر واقعی، عملاً در طراحی ملحوظ خواهد گردید.

در مورد کارگذاشتن عضوی که ابعاد مقطعش از مقادیر اسمی اختیار شده در طراحی بزرگ‌تر باشد، معمولاً مقاومت بالاتر بوده و این امر در جهت مقابله با تغییر میزان بار مرده در مقایسه با بار مرده‌ای است که در محاسبات به کار رفته است. باید توجه داشت که در سازه‌های فضاکار این امر به هر میزانی که باشد، متناسباً منجر به باز توزیع نیروهای اعضا و نتایج متفاوتی در تلاش‌های اعضا خواهد گردید.

اگر چه معمولاً در طراحی سازه فضاکار مقادیر بار مرده براساس ابعاد اسمی و وزن مخصوص اعضا و اجزا و پوشانه‌ها و سایر کنش‌های مشمول بارهای مرده تعریف می‌گردند، ضرایب بار باید به نحوی اختیار گردند که طی آن آثار رواداری‌ها در ابعاد - که خود منجر به تغییرات در مقاومت اعضا و مقاطع خواهد گردید - به صورت منطقی در مدل‌سازی بارها ملحوظ شود.

مقادیر وزن مخصوص (یا وزن واحد حجم) مصالح به ویژه پوشانه‌ها و اجزای الحاقی ثابت به دقت مشخص نیستند، بلکه معمولاً تخمین‌زده می‌شوند. روش معمول، استفاده از جدولی است که در آیین‌نامه‌های ذیربط یا از طریق مراجع معتبر ارایه گردیده است. در مرحله طراحی، در مواردی، نقشه‌های نهایی اجرایی معماری در اختیار طراح نیست و در این حالات، لازم است ابعاد احتمالی اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای را حدس زد و در مراحل بعد، صحت این حدس را مورد بررسی و کنترل قرار داد.

در مواردی برخی از اقلام کار پس از تکمیل طراحی سازه قطعی می‌گردند. مانند مصالح دیوارها و تیغه‌ها و پوشانه‌ها و سایر اجزای غیرسازه‌ای. در صورتی که تغییرات بارها موجب تفاوت قابل ملاحظه در فرضیات بارگذاری طراحی گردند، تجدید نظر در بارگذاری، تحلیل و طراحی مورد لزوم خواهد بود.

تخمین نحوه اعمال بار مرده بر اعضای سازه‌ای نیز تقریبی است. در عین حال، در مورد سازه‌های فضاکار مشمول این آیین‌نامه، فرض دیگری نیز در ارتباط با رفتار سازه اعمال گردیده است که بر دیدگاه تفکیک اعضای اصلی از فرعی استوار است و تمایز مشخصی بین اعضای باربر اصلی (مانند شبکه فضاکار و پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های آن) با اعضای باربر فرعی (مانند پوشانه‌ها) که بار مرده خود را به اعضای اصلی منتقل می‌نمایند، قایل است. در این دیدگاه، از اثر اندرکنشی فیما بین اعضای اصلی و فرعی صرف‌نظر گردیده است. در مواردی که چنین اثر اندرکنشی قابل ملاحظه باشد، طبعاً این فرض صادق نیست.

همچنین فرض احداث سیستم سازه باربر اصلی قبل از اعمال بار اعضای فرعی - با توجه به شیوه اجرای سازه‌های فضاکار - گاه صدق نمی‌نماید. به خصوص در مورد سازه‌های فضاکار ساخت درجا و سازه‌های فضاکار مختلط شامل پوشانه بتنی در جا یا پیش ساخته این نکته ملموس‌تر است.

در حالتی که بارها و سازه به صورت متزاید مطابق با فرایند ساخت، احداث و اعمال می‌گردند و همزمان با آن سختی سازه افزایش می‌یابد، انتظار می‌رود تنش‌های حاصله در این فرایند، با تنش‌های محاسباتی تفاوت اساسی داشته باشند.

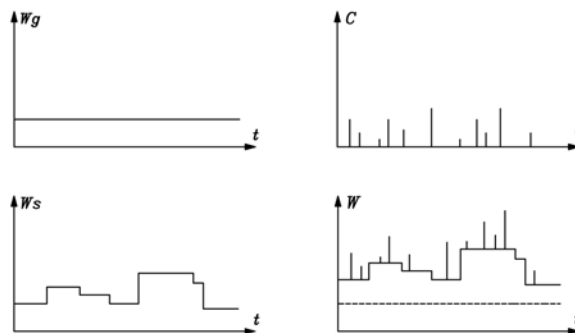
به این ترتیب، انحراف از میزان بارهای واقعی مرده دور از ذهن نبوده و نتیجتاً تخمین مقادیر پاسخ سازه (تنش‌ها و نیروها و لنگرهای مقاطع) نیز دارای انحرافات ناشی از آن خواهند بود.

به عنوان جمع‌بندی در مورد نحوه تخمین بارهای مرده، باید به این نکته توجه نمود که اگرچه بارهای مرده را نمی‌توان به طور دقیق پیش‌بینی کرد، ولی می‌توان به اندازه کافی از دیدگاه نیت طراحی به مقادیر واقعی آن نزدیک شد. در آیین‌نامه‌های بارگذاری سعی گردیده است این مسایل به نحوی در ارایه ضرایب بار طراحی ملحوظ گردند. در بارگذاری سازه‌های فضاکار در حال حاضر تمایل طراحان بیشتر حاکی از سمت‌گیری در جهت تعریف طول واقعی اعضا و اعمال بار پیوندها به طور جداگانه می‌باشد.

۳-۲-۱-۲- بارهای زنده

بارهای زنده شامل بارهای ثقلی (وزن) ناشی از نحوه بهره‌برداری و اشغال سازه می‌باشند که بر اعضا و اجزای سازه فضاکار اعمال می‌گردند. تجهیزات تأسیساتی الکتریکی و مکانیکی (که ممکن است شامل آثار ضربه نیز باشند)، در زمره بارهای زنده به شمار می‌روند. تغییرات تصادفی بارهای زنده معمولاً از طریق جمع کردن فرایند بارهای زنده تعلیقی و فرایند بارهای زنده گذرای مستقل، مدل‌سازی می‌شوند. فرایند بار زنده تعلیقی نشانگر بارهای زنده‌ای است که در طول مدت اعمال، مقدار تقریباً ثابتی داشته باشند و فرایند بارهای زنده گذرا، نمایشگر بارهای زنده کوتاه مدت می‌باشد. ترکیب بارهای تعلیقی و گذرا با دیدگاه‌های احتمال‌اندیشانه جهت طراحی مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

تفسیر- بار ثقلی وارده بر سازه فضاکار را می‌توان به صورت ترکیبی از مؤلفه‌های بارهای تصادفی، ایده‌آل‌سازی نمود (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷

۳-۲-۱-۲-۱- آثار دینامیکی و ضربه ناشی از بارهای زنده

در اینجا آثار اعمال ضربه و ارتعاشات ناشی از تجهیزات مکانیکی، وسایط نقلیه، ماشین‌آلات، جراثقال‌ها، بالابرها، بادبزن‌ها و دستگاه‌های تهویه، کمپرسورها، ماشین‌آلات چاپ، دستگاه‌های پرس و تجهیزاتی از این قبیل موردنظر می‌باشند که در حین بهره‌برداری از آنان، آثار بارهای ثقلی توأم با آثار دینامیکی بر سازه اعمال می‌گردند. لازم به یادآوری است که نیروهای دینامیکی بیرونی مانند نیروهای ناشی از باد یا زلزله در گروه‌بندی‌های دیگر مورد بررسی قرار داده خواهند شد. نحوه ملحوظداشتن این آثار در بند ۳-۲-۲-۳ ارایه گردیده است.

۳-۲-۱-۲-۲- تخمین بارهای زنده

بارهای زنده، ناشی از فعالیت‌های انسان و نحوه بهره‌برداری از سازه‌ها می‌باشند. این تعریف آنها را از بارهای ناشی از کنش‌های طبیعی متمایز می‌سازد. زیرا بارهای ناشی از کنش‌های طبیعی را می‌توان هم‌هنگ با قوانین فیزیکی پدیده‌های طبیعی و لذا قابل پیش‌بینی در حیطه یا محدوده خاصی بر مبنای تجارب گذشته، فرض نمود. فعالیت‌های انسانی به این نحو قابل پیش‌بینی نیستند. بنابراین، تجارب قبلی در مورد فعالیت‌های انسانی، صرفاً راهنمایی برای آتیه محتمل به شمار می‌روند و حدی را که می‌توان با اطمینان در مورد بارهای آتی قایل شد، حداکثر آن چیزی است که به طور فیزیکی ممکن به نظر می‌رسد. طبعاً این مقادیر حداکثر بار، از دیدگاه‌های عملی چندان جاذبه ندارند. بارهای زنده به نحوی که در آیین‌نامه‌های ساختمانی فعلی مشخص گردیده‌اند، نتایج قضاوت‌های مبتنی بر تجارب کمی نشده و یا بر اساس مطالعه تاریخچه اعمال بارها بوده‌اند.

از آنجا که هر سازه فضاکار برای نوع بهره‌برداری خاصی طراحی می‌شود، روش متداول آن است که بارگذاری را براساس نوع اشغال (و بهره‌برداری) در نظر گیرند.

در مراحل اولیه، در مواردی ممکن است برای طراح دشوار باشد که تمامی حالات بارگذاری را که در طول عمر مفید سازه قابل اعمال می‌باشند، پیش‌بینی نماید. بارگذاری بارهای زنده معمولاً شامل دو نوع از بار می‌باشند: (الف) بار گسترده یکنواخت معادل و (ب) بار متمرکز از پیش تعیین شده.

(الف) بارهای گسترده یکنواخت

بارهای یکنواخت معادل از پیش تعیین شده‌ای را به منظور ارایه آثار بار زنده متغیر در سازه به کار می‌برند. مقادیر بارهای یکنواخت از طریق مطالعه و بررسی سازه‌های با بهره‌برداری مشابه و تقریب‌زدن بارهای واقعی تعیین می‌گردند. معمولاً این گونه بارها بر اساس قضاوت‌های محافظه‌کارانه استوار بوده‌اند که منجر به طراحی سازه‌هایی می‌گردند که برای بهره‌برداری مورد نظر، حالات حدی نهایی و بهره‌برداری را ارضا می‌نمایند.

(ب) - بارهای متمرکز

مقادیر بارهای متمرکز شامل بارهای متمرکز محتمل‌الوقوع برای حالات مشخصی، تعیین گردیده‌اند. از جمله برای بام‌ها، پارکینگ‌ها، کف ساختمان‌های اداری، اطاق تجهیزات بالابر، پلکان‌ها، محل‌های استقرار تجهیزات مکانیکی و در مورد پل‌ها به صورت بارهای تیغه‌ای تعریف گردیده‌اند. به طور کلی مقادیر تعیین شده، باید مدلل بوده و نقاط اعمال نیز باید به نحوی در نظر گرفته شوند که نواحی بحرانی را دربر گیرند.

با تمایل روز افزون به استفاده از پوشانه‌های غشایی، شیشه‌ای و فلزی در سازه‌های فضاکار، ذکر مقادیر بار متمرکز بدون تعیین نمودن ناحیه اعمال بار، مفید نخواهد بود و لازم است توزیع فضایی بار نیز تعیین گردد.

همچنین در مورد همزمانی یا عدم همزمانی بارهای گسترده و متمرکز، باید مطالعات کافی با توجه به نوع کاربری و ترازهای عملکردی مورد نظر به عمل آید.

۳-۲-۱-۲-۳-۳- مقادیر بارهای زنده

در حالت بارگذاری ثقلی بارهای غیرمتحرک، در نوع به خصوصی از کاربری و بهره‌برداری، نه تنها تغییرات مکانی، بلکه تغییرات زمانی متفاوت خواهند بود. تغییرات زمانی شامل تغییرات کوتاه مدت (ناشی از جابه‌جایی بارهایی که وابسته به نوع بهره‌برداری می‌باشند) و تغییرات دراز مدت (ناشی از تغییرات در ویژگی‌های کلی بارها) خواهند بود.

تغییرات کوتاه مدت بارگذاری محتمل، قاعداً تأثیر چندانی بر توزیع بسامدی بارگذاری نخواهند داشت.

تفسیر = کاربرد تئوری احتمالات منجر به فرمول ساده‌ای برای ارزیابی احتمالات تجدید نظر شده خواهد گردید: در صورتی که باری با احتمال وقوع در هر یک از مجموعه‌های بارگذاری ملحوظ گردد، دارای احتمال وقوع ترکیبی P_n پس از n بار تغییر الگوی بارگذاری و جابه‌جایی مجموعه بارها خواهد بود. کنش‌های دراز مدت را نمی‌توان به این روش مورد بررسی قرار داد و نیاز به مطالعات مربوط به حالات کاربری متفاوت وجود خواهد داشت.

می‌توان فرض نمود که تغییرات کوتاه مدت زمانی، با تغییرات مکانی مشاهده‌شده تحت پوشش قرارداد شده‌اند. در برخی از انواع کاربری، تغییرات بارگذاری با طول زمانی متوسط وجود دارد که ناشی از افزایش دوره‌های میزان انبارنمودن کالا یا تجمع افراد در ایام به خصوصی از سال می‌باشد. این نوع تغییرات زمانی دارای اهمیت ویژه‌ای است.

تا زمانی که داده‌های تفصیلی مستدل در مورد مقادیر بارهای زنده وارد بر انواع سازه‌های فضاکار با کاربری خاص یا چند منظوره گردآوری نگردیده باشد، بارهای زنده ارایه‌شده در آیین‌نامه‌های کشوری: نشریه شماره ۵۱۹ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران و در مورد پل‌های متشکل از سازه‌های فضاکار، بارهای زنده ارایه‌شده در مشخصات فنی AASHTO و AREA را که مبتنی بر تجربه و قضاوت مهندسی می‌باشند، باید به عنوان سطوح بار مشخصه برای سازه‌های فضاکار نیز در نظر گرفت. بارهای زنده در مورد سازه‌های با فرم و کاربری خاص، بسته به مورد، براساس آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی ویژه نوع سازه و کاربری و در موارد عدم وجود آیین‌نامه‌های قابل کاربرد مستقیم، براساس مطالعات قابل دفاع از دیدگاه فنی و اقتصادی، برای پروژه و کاربری مورد نظر تعیین خواهند شد.

تفسیر- بارهای مشخصه به صورت سطحی از بار تعریف می‌شوند که میزان احتمال اختیاری مشخصی (مثلاً ۵ درصد) از نظر تجاوز از آن در طول عمر مفید سازه در نظر گرفته شده باشد. با آنکه این تعریف کاملاً واضح به نظر می‌رسد، کاربرد عملی آن به دلیل عدم در اختیار داشتن اطلاعات جهت پردازش آماری دشوار خواهد بود. حتی با داشتن مجموعه مناسبی از داده‌ها، سؤال در زمینه حالات غیرمتعارف یا استثنایی بارگذاری مطرح خواهد بود. در مشاهده‌های طولانی مدت فضاهای انتخاب شده و بررسی شده - حتی اگر روش‌های آماری ریاضی چنین تغییراتی را نشان ندهند - معمولاً شاهد تغییرات زمانی خواهیم بود. با توجه به ویژگی‌های سازه‌های فضاکار، این داده‌ها ماهیتاً متفاوت و از دیدگاه جامعه آماری محدود می‌باشند.

۳-۲-۱-۲-۴- تغییرات بارهای زنده

در حالی که بارهای مرده را می‌توان با درجه‌ای از دقت پیش‌بینی کرد، بارهای زنده تا آن درجه قابل پیش‌بینی نیستند. با بهره‌گیری از روش‌های ضرایب پاره‌ای بار در این آیین‌نامه، انواع مختلف بار با ضرایب بار متفاوت در ترکیب بارها منظور می‌گردند؛ لذا مطلوب خواهد بود که هر نوع از ملزومات بارگذاری در واقع حاصل ارزیابی معتبر و متقنی از نوع کاربری مربوطه را ارایه دهند و علاوه بر آن مطلوب خواهد بود معیاری از تغییرات محتمل به منظور ارایه مقادیر محتمل حداقل و حداکثر بارها تعیین گردد.

تفسیر- شیوه بهره‌برداری مجموعه یا فضاهای زیر مجموعه یک سازه فضاکار ممکن است با تغییرات کوتاه مدت و ناگهانی دگرگون شود. همچنین تغییرات نوع تجهیزات، متناسب با تغییر نیازها، نسبت به زمان دور از انتظار نخواهد بود.

همچنین در صورتی که از طریق مبانی آماری، با مقایسه اقلام مشابه این امر مورد بررسی قرار داده شود، لازم خواهد بود که بارها در تعداد قابل ملاحظه‌ای گروه - به منظور پوشش دادن به انواع گوناگون بارها - طبقه‌بندی شوند. عدم قطعیت بارها در طول عمر مفید سازه چنین طبقه‌بندی متنوعی را از دیدگاه عملی غیرسودمند می‌سازد. با در نظر گرفتن مقادیر عددی دقیق مفروض برای هر نوع بار، ابعاد مقاطع اعضای سازه‌ای، نه تنها بر مبنای مقدار و بزرگی بار به دست می‌آیند، بلکه روش تحلیل سطوح مقاومت قابل قبول نیز در تعیین آنها مؤثرند. با توجه به آنکه تمامی این کنش‌ها در محاسبات دخیل می‌باشند، لازم است مفروضات و منطق حاکم بر روند طراحی به روشنی درک و تبیین گردند.

مطالعات تفصیلی به منظور تعیین بارهای زنده در ساعات متفاوت روز برای انواع سازه‌ها و کاربری‌ها در کشورهای گوناگون به عمل آمده است. با انتخاب شرایطی که الگوی نمونه گونه خاصی از کاربری محسوب می‌گردند، نتایج حاصل گردیده که به میزان قابل قبولی یکنواخت و دارای انحراف معیار کوچکی بوده‌اند. معذک این اطلاعات را نمی‌توان در محاسبات وارد نمود، زیرا بر اساس مقادیر گردآوری‌شده در لحظه‌های مشاهده و برداشت بوده‌اند و هنوز تصور حالتی که احتمال دارد بارها از مقادیر اندازه‌گیری‌شده به میزان قابل ملاحظه‌ای فراتر روند، دور از انتظار نخواهد بود و بر این مبنای، حالتی با احتمال وقوع اندک برای بارهای استثنایی زنده مطرح گردیده‌اند.

در حالت بارگذاری ثقلی بارهای غیرمتحرک، بسته به نحوه کاربری و بهره‌برداری، نه تنها تغییرات مکانی، بلکه تغییرات زمانی نیز محتمل خواهند بود. تغییرات زمانی شامل تغییرات کوتاه مدت (ناشی از جابه‌جایی بارهای وابسته به نوع بهره‌برداری) و تغییرات دراز مدت (ناشی از تغییرات در ویژگی‌های کلی بارها) خواهند بود.

۳-۲-۱-۲-۵- کاهش سربارهای زنده

نحوه تجمع بارهای اعمالی بر ستون یا هر عضو سازه‌ای تکیه‌گاهی به کنش‌های متنوعی بستگی دارد. به ویژه، متغیرهای زیر حایز اهمیت می‌باشند:

- ویژگی بار زنده،
 - سطح وابسته (یا مرتبط)،
 - تعداد کف‌ها یا سقف‌هایی که بار خود را بر عضو سازه‌ای اعمال می‌نمایند،
 - احتمال اعمال همزمان بارها در مواضع متفاوت.
- علاوه بر آن، موارد زیر نیز که عمدتاً دارای طبیعت احتمالی نمی‌باشند، تأثیرگذار خواهند بود:
- ملزومات ممانعت از وقوع گسیختگی پیشرونده
 - نسبت بار مرده به بار زنده
 - انتخاب بارهای زنده مشخصه، مستقل از نیت اولیه بهره‌برداری از سازه فضاکار

از موارد حایز اهمیت در اعمال بارهای زنده عبارت است از تعیین مقادیر مناسب کاهش بارها و همچنین تلاش‌های حاصل در اعضا در اثر اعمال غیرمتقارن بارها به صورت محتمل بر سازه فضاکار. نکته اخیرالذکر باید با محاسبات جداگانه مورد توجه قرار داده شود.

تفسیر- بار زنده اعمالی بر سازه برخلاف آنچه اغلب در طراحی در نظر گرفته می‌شود، یکنواخت نیست. بارگذاری واقعی شامل اعمال شدت بارهای متفاوت بر سطوح متفاوت می‌باشد.

به طور کلی هرچه مساحت سطح مورد بررسی کوچک‌تر باشد، شدت بار زنده افزون‌تری ملحوظ می‌گردد. این واقعیت را با کاهش دادن بارهای زنده ملحوظ می‌دارند همچنین بین اعضای سازه‌ای سقف‌ها، ستون‌ها و شالوده‌ها تفاوت قایل می‌گردند.

شیوه‌های متداول تعیین ضرایب کاهش بار زنده

سه شیوه متداول تعیین ضرایب کاهش بار زنده به شرح زیر می‌باشند:

(الف) - روش کاهش بار زنده برحسب درصد بار

ماهیت این روش مبتنی بر آن است که اعضای اصلی را که بار سطوح نسبتاً بزرگی را تحمل می‌نمایند، می‌توان برای تحمل مقادیر کوچک‌تری از شدت بارهای زنده یکنواخت تصریح‌شده، طراحی نمود. هر چه مساحت سطح بارگیر بزرگ‌تر باشد، شدت بار طراحی عضو مربوطه کوچک‌تر خواهد بود.

تفسیر- این امر به معنی آن نیست که هیچ یک از بخش‌های سطح بارگیر با شدت بار تصریح شده بارگذاری نمی‌شوند، بلکه به معنی آن است که شدت متوسط بار وارده بر کل سطح بارگیر عضو، مقداری کم‌تر از مقدار حداکثر خواهد داشت.

این روش به صورت زیر به کار برده می‌شود:

۱- در سازه‌هایی که به منظور بهره‌برداری به صورت انبار معمولی کالاها، مواد و تولیدات صنعتی و کشاورزی بی‌خطر و غیرمضر از دیدگاه زیست محیطی طراحی می‌گردند، تمامی ستون‌ها و پایه‌ها، دیوارهای باربر و شالوده‌ها را می‌توان برای ۸۵٪ بار زنده کامل مفروض طراحی نمود. در مورد انواع دیگر سازه‌ها، متناسب با نوع بهره‌برداری و تعداد طبقه‌های اشغال شونده، بار زنده مفروض برای طراحی ستون‌ها، پایه‌ها، دیوارهای مشبک و شالوده‌ها را می‌توان با احتساب میزان بارهای زیر، محاسبه نمود:

- ۱۰٪ بار زنده بام‌ها

- ۸۵٪ بار زنده برای کف طبقه فوقانی

- ۸۰٪ بار زنده برای کف طبقه پایین‌تر از طبقه فوقانی

- ۷۵٪ بار زنده برای کف یک طبقه پایین‌تر

- در مورد هر طبقه پایین‌تر می‌توان کاهش بار زنده مربوطه را برحسب درصد اعمال نمود، مشروط بر آنکه حداقل ۵۰٪ بار زنده کل در نظر گرفته شده باشد.

۲- می‌توان اعضای اصلی شبکه فضاکار را که بار طراحی مربوط به سطحی بیش از ۵۰ متر مربع را تحمل می‌نمایند، برای ۸۵٪ بار زنده مشخصه تعریف شده طراحی نمود.

۳- در طراحی خرپاهای فضاکار و شاه‌تیرها و شالوده‌های منفرد، می‌توان بارهای مرده کامل به علاوه بارهای زنده را با مقادیر کاهش مذکور در بند ۲ فوق در نظر گرفت.

برای نوع اشغال به عنوان انبار (که گاه شامل بهره‌برداری تجاری نیز می‌گردد)، مقادیر کاهش مجاز محدودتر در نظر گرفته شده‌اند؛ زیرا احتمال آنکه کف طبقه در چنین حالت از کاربری، به طور کامل بارگذاری شود، از سایر کاربری‌های بیشتر خواهد بود.

(ب) - روش مبتنی بر نسبت بار مرده به بار زنده

در این روش، میزان کاهش سربار با افزایش سطح بارگیر عضو افزایش می‌یابد و همچنین در مورد فضاهای انبار و تجاری برای میزان کاهش سربار محدودیت اعمال می‌گردد. علاوه بر آن، محدودیت‌هایی از قبیل عدم اجازه کاهش سربار برای اعضای که سطوح بارگیر کوچک‌تری از مقدار معینی دارند، در نظر گرفته شده است. همچنین در این روش برای کاهش سربار کرانه بالایی به میزان ۶۰٪ تعیین گردیده است.

تفسیر - شیوه کاهش بارهای زنده در این روش به صورت زیر است:

- ۱- برای اعضای باربر سطوحی با شدت بارهای زنده کوچک‌تر یا مساوی ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مربع: بار زنده طراحی هر عضو یا جزء را که بار سطحی به مساحت بزرگ‌تر یا مساوی ۵۰ متر مربع را تحمل می‌نماید، می‌توان با نرخ ۵/۰٪ به ازاء هر مترمربع سطح بارگیر کاهش داد.
- ۲- در مورد فضاهایی که به عنوان فضاهای اجتماع افراد مورد استفاده قرار می‌گیرند، کاهش سربار مجاز نیست.
- ۳- میزان کاهش بار زنده نباید از ۵۵٪ یا R (براساس رابطه زیر) تجاوز نماید:

$$R = 100 [(D+L)/4.33L] \quad (1-3)$$

که در آن، R میزان کاهش (٪)، D بار مرده بر واحد سطح بارگیر عضو و L بار زنده طراحی بر واحد سطح بارگیر عضو می‌باشند.

- ۴- در مورد بارهای زنده با شدت بیش از ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمربع، کاهش سربار مجاز نمی‌باشد. تنها در مورد بار طراحی ستون‌ها، بار زنده طراحی را می‌توان تا حداکثر ۲۰٪ کاهش داد.

فرمول R که مبتنی بر فلسفه گسیختگی ایمن است، به نحوی تعیین شده است که در صورت وقوع اعمال بار کامل زنده بر کل سطح بارگیر، تقاضای نیرویی عضو سازه‌ای مزبور نباید از ظرفیت آن تجاوز نماید؛ حتی اگر عضو براساس بار زنده کاهش یافته طراحی شده باشد.

(پ) - روش سطح وابسته

در این روش موارد زیر ملحوظ گردیده است:

- میزان کاهش بار زنده با سطح وابسته متناسب است.
- میزان کمتری از نرخ کاهش برای انبارها و فضاهای تجاری عمومی و اجتماعات در مقام مقایسه با فضاهای دیگر مانند فضاهای مسکونی و اداری مجاز دانسته شده است.
- در این روش برای میزان کاهش بار زنده کرانه بالایی قایل شده است (فرمول کاهش بار زنده برای سطوح به مساحت‌های بزرگ به سمت مجانب میل می‌نماید).
- مستثنی دانستن برخی از بارها (مانند برف) از احتمال اعمال کامل.

تفسیر - در این روش کاهش بار زنده به شرح زیر می‌باشد:

۱- هرگاه عضو سازه‌ای بار سطح وابسته بارگیری از کف طبقات، بام یا ترکیبی از آنها را در حد متجاوز بر ۱۰۰ مترمربع، به منظور بهره‌برداری به عنوان انبار، کارگاه، پارکینگ یا فضای اجتماعات تحمل نماید، بار زنده طراحی (جز بار برف) عبارت خواهد بود از بار زنده مینا ضرب در $(0.5 + 5/\sqrt{A})$ ؛ که در آن، A عبارت است از سطح وابسته ترکیبی بارگیر برحسب متر مربع.

۲- هرگاه عضو سازه‌ای بار سطح وابسته بارگیر از کف طبقات، بام یا ترکیبی از آنها را تا حد متجاوز بر ۵۰ متر مربع، به منظور هرگونه بهره‌برداری غیر از آنچه در بالا قید شد، تحمل نماید، بار زنده طراحی (جز بار برف) عبارت خواهد بود از بار زنده مینا ضرب در $(0.3 + 3/\sqrt{B})$ ؛ که در آن، B عبارت است از مساحت سطح وابسته بارگیر ترکیبی برحسب متر مربع.

سه روش فوق چند نارسایی مشترک دارند. مهم‌ترین آنها شاید عدم اتکا به مبانی کمی باشد. برداشت بارهای واقعی برای انواع کاربری‌های سازه‌های فضاکار و مطالعات آماری این تقیصه را بهبود می‌بخشد. باید توجه داشت که در روش‌های فوق، آثار کاهش بارهای زنده مستقل از نوع سیستم سازه فضاکار اختیار شده و تابع نوع مصالح سازه‌ای نمی‌باشد. اگر بپذیریم که بار زنده متغیر است، که به صورت متمرکز شده در بخشی از سطوح و با بزرگی و شدت کوچک‌تر در نواحی دیگر اعمال می‌شود، قابلیت سازه در تحمل چنین بارهایی به قابلیت توزیع بارها از طریق پل‌زدن و انتقال بارهای ناحیه با شدت بار بزرگ‌تر به نواحی با شدت بار کوچک‌تر بستگی خواهد داشت. این قابلیت در سازه‌های فضاکار به میزان قابل ملاحظه وجود دارد و البته به نوع سازه فضاکار، نوع مصالح سازه، نوع اتصالات، نحوه پیوستگی سازه و حضور مسیره‌های مضاعف برای انتقال بارها و ممانعت از بروز گسیختگی زنجیره‌وار پیش‌رونده و مشخصه‌هایی نظیر آن که در اغلب موارد از خصیصه‌های سازه‌های فضاکار به شمار می‌روند، وابسته خواهد بود.

بار وارده بر سازه تابع عمر سازه است. در مورد ساختمان در دست احداث، ابتدا شالوده ساختمان تکمیل می‌گردد، سپس سازه بر آن احداث می‌شود، پس از آن پوشش‌های جانبی، لوله‌ها و کانال‌های تأسیساتی و نازک‌کاری اجرا می‌گردند. پس از آن است که بارهای زنده ناشی از نوع بهره‌برداری بر سازه اعمال خواهد گردید.

بخشی از عناصر سازه‌ای تکیه‌گاهی ساختمان (مثلاً شالوده‌ها یا ستون‌ها) از مصالح بتنی ساخته می‌شوند که با عمر، افزایش مقاومت می‌دهند. مهندس طراح، محاسبات را بر مبنای مقاومت نمونه‌های بتنی در عمر مشخصی (مثلاً ۲۸ روزه) انجام می‌دهد.

کسب مقاومت افزوده بتن پس از ۲۸ روز، به ویژه در اعضای سازه‌ای مانند پی‌ها و پایه‌هایی که در شرایط مراقبت مناسب قرار داشته‌باشند، می‌تواند در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد در مدت ۴ ماه تا یکسال باشد. از سوی دیگر، متناسب با شرایط محیطی و نوع کاربری، اضمحلال مصالح بتن آرمه و یا خوردگی و خستگی مصالح فولادی در مقاومت و سایر پارامترهای مرتبط با خواص مکانیکی و متالورژیکی مصالح تأثیر گذارند.

آیا باید اعضای سازه‌ای را برای مقاومت متناسب با عمر عضو در مرحله اعمال بار کامل طراحی نمود؟ تلاش‌هایی برای ملحوظ داشتن غیرمستقیم این آثار در ضرایب بار یا ضرایب کاهش بارهای زنده به عمل آمده است. معذک، روش ضرایب پاره‌ای بار و مقاومت این امکان را داده است که آثار مزبور را مستقیماً در مقاومت طراحی اعضا و اجزای سازه منظور کرد.

تفسیر- مقایسه نتایج حاصل از چند فرمول نمونه کاهش بار زنده پیشنهادشده از سوی چندین آیین‌نامه معتبر در مورد سازه‌های چند طبقه پراکندگی قابل ملاحظه‌ای را در نتایج حاصله از روش‌های آیین‌نامه‌ها در احتساب ضرایب کاهش بار زنده بر ستون‌ها نشان داده‌است. لذا این مسأله نیاز به بررسی بیشتری به منظور برقرارنمودن معیار معتبری برای آیین‌نامه‌نویسان و طراحان خواهد داشت. معذک، پراکندگی فوق‌الاشاره بیشتر مربوط به ساختمان‌های چند طبقه و بلند مرتبه بوده است که هنوز این کاربرد از سازه‌های فضاکار چندان مرسوم نیست و در مورد سازه‌های فضاکار دارای یک سقف پوشانه یا تعداد طبقات محدود که کاربرد متداول‌تری از سازه‌های فضاکار بوده‌اند، این پراکندگی کمتر مشاهده می‌شود.

۳-۱-۲-۳- بار برف

اگرچه بار برف نیز دارای ماهیت ثقلی است، به دلیل وابستگی به شرایط جوی، در این آیین‌نامه از سایر بارهای ثقلی تفکیک شده و به طور جداگانه در بند ۳-۲-۶ مورد بحث قرار داده خواهد شد.

تفسیر- شدت بارها به منظور طراحی، معمولاً به صورت مقادیر متوسط وزن در واحد سطح بیان می‌گردند. معمولاً علاوه بر این، ملزوماتی در مورد اعمال وزن با شدت بیشتر در ناحیه محدودتری از سازه فضاکار نیز مطرح می‌گردد که از این طریق، احتمال اعمال بارهای با تمرکز بیشتر منظور می‌شود. این مقادیر را می‌توان به سه طریق متفاوت تعیین کرد:

(الف) روش تعیینی: متکی بر تجربه و قضاوت مهندسی به منظور تعیین مقادیر مشخصی می‌باشد. مقادیر مزبور قراردادی می‌باشند، ولی باید به میزان کافی واقع‌گرایانه اختیار گردند که نیل به سطح اطمینان کافی در ارتباط با ایمنی سازه را تضمین نمایند.

(ب) روش احتمال‌اندیشانه: در این روش از تئوری احتمالات و روش‌های آماری به منظور دستیابی به مقادیر واقع‌گرایانه کمیت‌های معرف مقادیر اسمی بارها بهره‌گیری می‌گردد و با بیان میزان تغییرات شدت بارها به منظور دستیابی به سطح اطمینان مورد نظر برای تراز عملکردی از پیش تعیین‌شده همراه است.

(پ) روش نیمه‌احتمالی: در این روش با اتکا بر مطالعات آماری، ایده بارهای مشخصه ارائه می‌گردد. بار مشخصه عبارت است از مقدار باری که احتمال آنکه در طول عمر مفید سازه از آن تجاوز گردد، ۵٪ می‌باشد.

در بهره‌گیری از هر یک از روش‌های فوق، با توجه به آنکه ضرایب بار پاره‌ای متفاوتی به گروه‌های متفاوت بار (مرده، زنده و غیره) اعمال خواهد گردید، به ویژه در مورد سازه‌های فضاکار پوشش دهانه‌های نسبتاً وسیع ضرورت دارد که مقادیر هر نوع از بارها به طور موشکافانه تعریف گردیده و آثار تغییرات این بارها نیز ملحوظ گردیده باشند.

۳-۲-۲-۳- بارهای ناشی از ضربه و بارهای ناشی از ماشین‌آلات دوار

۳-۲-۲-۳- کلیات

بارهای متعارف دینامیکی در دو دسته عمده طبقه‌بندی می‌شوند: بارهای ناشی از اعمال ضربه و بارهای چرخه‌ای تناوبی. در این حالات پاسخ سازه تابع جرم مرتعش و ویژگی‌های سختی و استهلاک سازه است.

بارهای چرخه‌ای تناوبی معمولاً ناشی از کار ماشین‌آلات بوده و ممکن است ملزومات خاصی را در طراحی سازه و جزئیات اجرایی به منظور ایزوله‌نمودن یا کاهش آثار ارتعاشات ناشی از آنها، نسبت به سازه اصلی، ایجاب نماید. در این گونه موارد، احتمال بروز حالت تشدید و ارتعاشات تشدیدی سازه اصلی را باید مدنظر داشت. همچنین از موارد محتمل، ضربات ناشی از توقف اطلاقک آسانسور، جراثقال‌های متحرک و نظایر آنها می‌باشد.

۳-۲-۲-۳- پاسخ سازه

تحت آثار بارهای چرخه‌ای تناوبی، دامنه ارتعاشات پاسخ سازه نه تنها به ویژگی‌های بار اعمالی وابسته است، بلکه به نسبت r یعنی نسبت بسامد بار اعمالی به بسامد ارتعاش طبیعی سازه و نسبت d یعنی نسبت ضریب میرایی واقعی به ضریب میرایی بحرانی نیز بستگی دارد. برای مقادیر d که در عمل با آن مواجه هستیم (یعنی حدود $0/02$ تا $0/10$) می‌توان فرض نمود که پاسخ سازه برای مقادیر r کوچک‌تر از $0/25$ ، مستقیماً آثار بار وارده را دنبال می‌نماید. برای $r=1$ بزرگنمایی متناسب با $(1/2d)$ مشاهده می‌گردد و برای مقادیر r بزرگ‌تر از $1/5$ ، دارای دامنه کم‌تری از آن است که به طور مستقیم به ویژگی‌های بارگذاری مربوط می‌شود. محاسبه دامنه ارتعاش در نزدیکی تشدید $r=1$ ؛ فاقد مفهوم منطقی است و حایز اهمیت است که از بروز حالت تشدید جلوگیری به عمل آید. هرگاه دامنه تنش‌های حاصله بالنسبه زیاد باشد، بروز پدیده خستگی نیز محتمل بوده و باید در مقابل آن تدابیر لازم را اندیشید.

۳-۲-۲-۳- تعریف و توصیف بارهای ناشی از ضربه و بارهای ناشی از ماشین‌آلات دوار

توصیف کامل بارهای ناشی از ضربه و بارهای رفت و برگشتی به منظور طراحی و همچنین تحلیل کامل پاسخ سازه به چنین بارهایی در تمامی موارد قابل توجیه نیست و در مواردی که بهره‌گیری از بارهای استاتیکی معادل کفایت نماید، توصیف بارهای دارای آثار دینامیکی با دیدگاه معادل‌سازی استاتیکی مورد توجه مهندسان طراح انواع سازه‌های صنعتی و پل‌ها بوده‌است. بارهای استاتیکی معادل را معمولاً با اعمال "ضریب ضربه" به بار استاتیکی مبنای تعریف و تعیین می‌نمایند. جدول ۳-۱ برخی از چنین ضرایب باری را ارائه می‌دهد.

چنین ضرایب بارهایی را نمی‌توان در سطح بین‌المللی صادق دانست. اینگونه ضرایب را اغلب از طریق مشاهدات و تجارب گذشته تعیین می‌نمایند. به این ترتیب که چنین ضرایبی، در موارد اعمال، منجر به بهره‌برداری رضایت‌بخشی گردیده است. در صورتی که فرم و سیستم سازه تغییر نماید، تجارب گذشته، بهره‌برداری رضایت‌بخش را ضمانت نخواهد نمود.

جدول ۳-۱- درصد افزایش بارهای استاتیکی به منظور ملحوظ‌داشتن آثار ناشی از اعمال ضربه یا آثار دینامیکی در قالب بارهای استاتیکی معادل

| درصد افزایش بار | بار | |
|---|--|--|
| ۱۰۰ | تجهیزات بالابرها (آسانسورها) و سازه‌های تکیه‌گاهی آن | |
| ۱۵ | اعضا و اتصالات | جراثقال‌های بطی (سرعت کم‌تر از یک متر بر ثانیه) |
| | حامل جراثقال‌های متحرک (۱۵ تا ۲۵) | |
| ۲۵ | جراثقال‌های سریع (سرعت بیش از یک متر بر ثانیه) | |
| ۲۵ | عناصر سازه‌ای تکیه‌گاه ماشین‌آلات سبک | |
| ۵۰ | ماشین‌آلات گردشی | |
| ۳۳ | آویزهای نگهدارنده کف طبقات و بالکن‌ها | |
| ۳۰ | بخش‌های طره‌ای | بار زنده پل‌ها |
| | سایر دهانه‌ها | |
| * $65 / (3/28L + 150) \times 100 \leq 30$ | | |

* (که در آن L طول بارگذاری شده دهانه پل بر حسب متر می‌باشد)

۳-۲-۳- آثار ناشی از ارتعاش

تمامی سازه‌ها در اثر عبور ترافیک سنگین، باد، نوسانات تجهیزات مکانیکی و منابع دیگر، بسته به نوع کاربری به ارتعاش در می‌آیند. هرگاه میزان دامنه تغییرمکان از حد معینی تجاوز نماید، افراد ساکن احساس حرکت نامطبوعی خواهند نمود. مطالعات دامنه‌داری جهت تشخیص حد ارتعاش قابل تحمل توسط افراد متعارف، به عمل آمده است که نشانگر آن بوده‌است که عکس‌العمل

افراد به ارتعاش یکسان متفاوت است و به محل استقرار فرد در سازه و نحوه استقرار: در حال حرکت، ایستاده، خوابیده یا نشسته نیز بستگی دارد. اغلب افراد ارتعاشات با بسامد زیاد را احساس می‌نمایند ولی در مورد ارتعاشات با بسامد کم، حالتی مانند تهوع ناشی از سفر در دریای متلاطم دست می‌دهد. این امر باید توسط طراح سازه فضاکار مورد توجه قرار داده شود. ارتعاشات نامطبوع از جمله حالت‌های حدی بهره‌برداری تلقی می‌گردند که باید از ایجاد حالت تشدید و گسیختگی ناشی از آن تفکیک گردند. اطلاعات موجود به ویژه در مورد کاربری‌های متداول سازه‌های فضاکار ناچیز می‌باشند. کاهش جرم سیستم سازه کف‌ها و پوشانه‌ها در طراحی نوین سازه‌های مستقر بر خاک‌های با پی‌ود نوسان مشخصی می‌تواند منجر به کاهش آسودگی کاربران گردد. لذا در مورد بسیاری از سیستم‌های ابتکاری سازه سبک کف طبقات و سازه‌های فضاکار سبک مطبق، تحلیل دینامیکی با در نظر گرفتن آثار اندرکنش خاک - پی - سازه و با بررسی اثر تغییرات سختی و جرم سیستم ضروری خواهد بود.

۳-۲-۴- بارهای اجرایی

با توجه به شیوه ساخت، بافت و نصب سازه فضاکار، باید آثار اعمال بارهای محتمل را در تمامی مراحل و گام‌های ساخت، بافت و نصب بر سازه فضاکار تکمیل نشده و در حین اجرا با توجه به شرایط موقت سازه فضاکار در دست احداث و شرایط تکیه‌گاهی موقت یا دائمی در طراحی ملحوظ داشت. امکان ذخیره‌سازی مصالح بر کف‌ها و وضعیت پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های موقت، مهارهای موقت و همچنین کیفیت موقت اتصالات و مهاربندی‌ها قبل از تکمیل عملیات اجرایی مربوطه را نباید از نظر دور داشت. همچنین ترتیب اعمال بار بر اعضا، اجزا و مجموعه سازه فضاکار را باید مورد توجه قرار داد. در مورد سازه‌های فضاکاری که در تراز پایین بافته و به وسیله جک‌های هیدرولیکی و برج‌های بالابر به ارتفاع نهایی انتقال می‌یابند و همچنین در حالتی که از بافت در زمین مرتفع مجاور یا سکوه‌های مجاور و نصب از طریق سراندن به کمک خرپاهای پیشانی استفاده می‌شود یا از روش‌های ساخت طره‌ای بهره‌گیری می‌گردد، طراح باید ضمن اتخاذ تصمیم در مورد گزینه برتر بافت و نصب از جنبه‌های فنی و اقتصادی، بارهای اجرایی متناسب با گام‌های اجرا و سیستم‌های باربر مرحله‌ای را به درستی با توجه به دیدگاه‌های احتمال‌اندیشانه در تخمین بزرگی بارهای محتمل‌الوقوع در دوره زمانی برنامه‌ریزی شده برای عملیات اجرایی و به منظور تأمین پایداری مجموعه سازه و تکیه‌گاه‌های دائمی و موقت آن و آثار اعمال ضربه ناشی از شیوه نصب، به نحو همه‌جانبه و واقع‌گرایانه ملحوظ دارد. طراح و تیم‌های طراحی سازه فضاکار باید گام‌های اجرایی را در مشخصات فنی بافت و نصب پروژه به دقت منعکس سازند.

در مورد هر یک از اعضای سازه فضاکار که محور آن با افق زاویه‌ای کوچک‌تر از ۳۰ درجه می‌سازد، لازم است بار اجرایی متمرکزی برابر با ۱۰۰۰ نیوتن در هر نقطه دلخواه آن (معمولاً وسط دهانه عضو) اعمال گردد تمامی چنین اعضای از سازه فضاکار باید قادر باشند بار مزبور را بدون بروز تغییر شکل موضعی یا کلی پس‌ماند، تحمل نمایند.

۳-۲-۵- بارهای ناشی از کنش‌های مرتبط با شرایط جوی

۳-۲-۵-۱- کلیات

در این آیین‌نامه، بارهای ناشی از برف و آثار ناشی از تغییرات دما در چارچوب بارهای جوی طبقه‌بندی گردیده‌اند. این نوع بارها تابع شرایط جوی و وضعیت هوا در خارج و داخل سازه می‌باشند. کنش‌های جوی همچنین شامل باد (یکنواخت، تند باد و یا مغشوش)، برف و یخ، باران و گرد و غبار، نگرگ و حرکت‌های ناشی از تغییرات رطوبت نیز می‌گردند.

حرکت‌های ناشی از تغییرات دما و رطوبت و همچنین بارهای باد به وضعیت جوی داخل و خارج سازه بستگی دارند. با توجه به آنکه وضعیت هوا در داخل سازه معمولاً توسط انسان قابل کنترل می‌باشد، تنها به تغییرات هوا در خارج سازه اکتفا می‌شود. حرکت‌های ناشی از تغییرات دما و رطوبت همچنین به نوع، اندازه، شکل و موقعیت سازه بستگی داشته و به جز موارد خاص، مستقل از نوع بهره‌برداری می‌باشند. همچنین آثار وجود یا عدم وجود قیود حرکت‌های حرارتی در ایجاد تنش‌ها و تلاش‌های مربوطه حایز اهمیت خواهند بود.

سطوح بارهای ناشی از کنش‌های جوی هم نسبت به زمان و هم نسبت به موقعیت جغرافیایی سازه تغییر می‌نمایند. برای هر منطقه، الگوی معمول، شامل یک مجموعه از تغییرات دوره‌ای نسبتاً منظم به همراه تغییراتی با نظم کم‌تر (ناشی از وضعیت جوی برهه‌ای، ناحیه‌ای، منطقه‌ای و جهانی) خواهد بود. در ارتباط با کنش‌های دارای منشأ جوی - اقلیمی، و در چارچوب مفاهیم طراحی عملکردی، می‌توان دوره‌های بازگشت متناسب با سطوح خطر مورد نظر و ترازهای عملکردی مربوطه را تعیین و اختیار نمود. در این آیین‌نامه، برای انواع سازه‌های فضاکار، نحوه اعمال چنین روش‌هایی مورد بحث قرار داده شده‌است.

علیرغم آنکه بارهای برف، باد و سایر بارهای ناشی از شرایط جوی در ماهیت، زیرمجموعه کنش‌های مرتبط با شرایط جوی به‌شمار می‌روند، به‌منظور سهولت بهره‌برداری از آیین‌نامه و همچنین به‌دلیل اهمیت بعضی از این کنش‌ها در طراحی سازه‌های فضاکار، کنش‌های مزبور به‌طور جداگانه در این فصل مورد بحث قرار داده شده‌اند. بنابراین از مجموعه کنش‌های ناشی از شرایط جوی ذیل بند حاضر تنها به آثار ناشی از تغییرات دما پرداخته شده‌است.

۳-۲-۵-۲- آثار ناشی از تغییرات دما

در این‌جا، آثار ناشی از تغییرات دما شامل آثار حاصل از تغییرات فصلی متعارف هوا یا آثار گرادیان حرارتی ناشی از اختلاف دمای محدود در حین بهره‌برداری می‌گردند. مواردی مانند بروز حریق، انفجار و نظایر آن به‌طور جداگانه در نظر گرفته خواهند شد.

تغییرات فصلی دما بر حسب شرایط اقلیمی به ترتیب مندرج در این آیین‌نامه منظور می‌گردند.

در این بخش اثر تغییرات دمای محیطی، که با انبساط یا انقباض نامتجانس اعضای سازه رخ می‌دهد، بر پایداری اعضای سازه‌ای، خدمت‌رسانی و پاسخ سازه مورد بحث قرار داده می‌شود.

در سازه‌های با ابعاد بزرگ در پلان و سازه‌های بلند، آثار ناشی از بارهای حرارتی می‌توانند مقادیر قابل ملاحظه‌ای داشته باشند. معدلک وضعیت تحت کنترل هوای داخل این سازه‌ها آثار تمایل به حرکت‌های نسبی یا ایجاد تنش‌های ناشی از جلوگیری از حرکت‌ها بین اجزای سازه را کاهش می‌دهد. سازه‌های بادخانه‌های آزاد وسیع و سازه‌های اداری و مسکونی و صنعتی بلند و سازه‌های نظیر اغلب باید شامل حفاظی از بخش کاملاً محصورشده و عایق‌بندی‌شده برای سازه باشند. به منظور حصول اطمینان از تأمین

دمای مناسب برای افراد یا محتویات داخل ساختمان، باید سیستم‌های مکانیکی مناسبی که کنترل دمای داخل ساختمان را تضمین می‌نمایند، مورد استفاده قرار داده شوند. این شرایط، طول اعضای درونی را طی تغییر فصول تقریباً ثابت نگه می‌دارد و لذا تنش‌های حرارتی در این اعضا کنش‌های مهمی از نظر طراحی محسوب نمی‌گردند.

آثار ناشی از حرکت‌های فصلی پوسته بیرونی سازه را نیز می‌توان با ایجاد درزهای لغزشی در امتدادهایی که نیاز به آزادی حرکت حرارتی و دفع تنش‌های ناشی از آن داشته‌اند، حل و فصل نمود. در سازه‌های فضاکار دارای دهانه‌های طویل مقید شده در تکیه‌گاه‌ها یا با اتصالات یکپارچه با ستون‌ها و قاب‌های مهاربندی شده، حضور تنش‌های حرارتی می‌تواند مسأله‌ساز باشد. در طول مدت اجرای سازه، آثار تغییرات دما در سازه‌ای که موقتاً در معرض کنش‌های جوی است، باید به کمک مرحله‌بندی بافت و نصب کاهش داده شود.

بخش دیگری از مسایل مرتبط با آثار حرارتی با احداث سازه‌های با دهانه‌های طویل، ایجاد آزادی‌های حرکت حرارتی، احداث سازه‌های فضاکار با اعضای سازه‌ای بیرونی در معرض دید و در معرض کنش‌های جوی و به خصوص با شکستن حصارهای محدودکننده دهانه‌ها و ارتفاع سازه در دهه‌های اخیر همراه بوده است.

در صورت وجود قيود حرکتی و عدم آزادسازی تنش‌ها، تغییرات فصلی دما می‌تواند آثار نامطلوبی بر میزان تنش‌ها و تغییر شکل‌های اعضا و اجزای بیرونی سازه داشته باشد.

تفسیر- در مورد سازه‌های فضاکار محصور که در هر جهت طولی، بعدشان از ۵۰ متر تجاوز نماید و همچنین ساختمان‌های تا ارتفاع حدود ۵۰ متر، آثار تغییرات دما معمولاً نادیده انگاشته می‌شوند. تنش‌های ناشی از تغییرات دما در این سازه‌ها قابل ملاحظه نبوده و اثر قابل اعتنایی بر اعضای غیرسازه‌ای، به دلیل تغییر مکان‌های حرارتی، وارد نمی‌آورند. معذک اصول مهندسی در مورد سازه‌هایی که در مناطق معتدل نیستند، یا سازه‌هایی که دارای ستون‌ها و اعضای بیرونی در معرض کنش‌های جوی در ترکیب یکپارچه با اعضای درونی هستند و قيود حرکتی نیز وجود دارد، لازم می‌دارد که آنالیز حرارتی صورت گیرد. معمولاً در مورد سازه‌های با دهانه‌های بیش از ۵۰ متر و ارتفاع بیش از ۵۰ متر، به دلیل تغییر مکان‌های مطلق یا نسبی قابل ملاحظه ناشی از تغییرات دما، تحلیل آثار تغییرات دما در تمامی حالات محتمل ضروری خواهد بود.

۳-۲-۵-۱- ماهیت بارهای ناشی از تغییرات دما

تغییر دما، به خودی خود، بار محسوب نمی‌شود؛ بلکه این تغییرات منجر به تنش‌های درونی به دلیل وجود قيود در مقابل انبساط و انقباض آزادانه می‌گردند. پاسخ سازه به تغییرات دما به صورت تغییر شکل‌ها و انبساط و انقباض مصالح سازه‌ای و غیرسازه‌ای ساختمان در تمامی جهات نمایان می‌گردد و تغییرات هر بعد سازه عمدتاً تابعی از آن بعد می‌باشد.

تفسیر- معادله کلی تغییر شکل به همان فرم مأنوس است که طول، تغییرات دما و ضریب ثابتی را در بر می‌گیرد. به طور کلی، اعضای ساختمانی لاغر، آثار مسلط تغییرات دما را بیش از اعضای غشایی و صفحه‌ای و پوسته‌ای تجربه خواهند کرد؛ زیرا در مورد اجزای اخیرالذکر، آثار نسبت پواسون جنبه تعدیل‌کننده دارد. در مورد سازه‌های فضاکار با رفتار مسلط سه بعدی، این آثار تعدیل‌کننده قابل توجه است. در مورد سازه‌های با رفتار قابل تفکیک به زیرمجموعه‌های دو بعدی، این آثار در جهت طولی حادث گردیده و در جهات عمود بر آن معمولاً ناچیز می‌باشند. سازه فضاکار، در مقابل تمایل به انبساط هر عضو، از طریق اعوجاج، افزایش تنش‌ها و آثار ثانویه بر اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، واکنش نشان می‌دهد. در برخی از موارد، گسیختگی تحت آثار ترکیبی اختلاف دما همزمان با سایر کنش‌ها اتفاق می‌افتد.

به طور کلی برای سازه‌های متجاوز بر ۵۰ متر در ارتفاع یا ۵۰ متر در طول، توصیه می‌شود آثار ناشی از تغییرات دما در جهات قائم و افقی از طریق مطالعه مدل سه بعدی سازه فضاکار و پایه‌ها با توجه به وضعیت قيود حرارتی در نظر گرفته شود. در این حالت، باید مدل واقع‌گرایانه‌ای از سازه و تکیه‌گاه‌ها و درزهای جدایی یا انبساط و انقباض تهیه شده، دماهای مشخصه محیطی تعیین گردیده و نسبت به مبدأ اختیار شده‌ای، تغییر دما به اعضای سازه‌ای اعمال و

نتایج حاصله مورد بررسی قرار داده شوند. متعاقباً باید پاسخ سیستم سازه، اعضا، اجزا و مصالح سازه به تغییرات دما و ترکیب این آثار یا آثار دیگر، مورد مطالعه قرار داد شوند.

در صورتی که، عضوی از اعضای سازه فضاکار شبکه‌ای با نوعی از مصالح و با شکل و فرم و شرایط سرحدی معین، تحت آثار تغییرات دمای محیطی قرار داده شود، تنش‌های درونی حاصله، تابعی از میزان تغییر طولی (ثبعی) خواهند بود که با در نظر گرفتن نوع اتصالات انتهایی و سختی بقیه سازه در صورت عدم گسیختگی یا کمانش، سازه را در وضعیت تعادل جدید قرار خواهد داد.

شرایط سرحدی مجموعه سازه یا عضو سازه فضاکار می‌تواند به شرح زیر باشد:

- ۱- انبساط کامل، بدون ممانعت و بدون قید که در این حالت تنش‌های حرارتی برابر با صفر خواهند بود.
 - ۲- قید کامل با ممانعت کامل از تغییر طول مجموعه سازه یا عضو که در این حالت تنش‌های حرارتی مقادیر بیشینه خواهند یافت.
 - ۳- حالتی بین حالات ۱ و ۲ که در آن قید وجود داشته ولی این قید دارای سختی معین بوده و مطلقاً صلب نمی‌باشد (مانند آثار انعطاف‌پذیری اتصالات در پیوندهای طرفین عضو یا واحد سازه فضاکار یا اثر اندرکنشی سایر بخش‌های سازه با عضو مورد بحث یا شیوه رفتار پایه‌ها، تکیه‌گاه‌ها و دستگاه‌های تکیه‌گاهی سازه‌های فضاکار که دارای سختی محدود می‌باشند).
- حیطه مسایلی که در ملحوظداشتن آثار تغییر دما مطرح می‌گردند، به شرح زیر می‌باشند:

- ۱- تغییرات نسبتاً اندک و یکنواخت دما
- ۲- تغییرات نسبتاً زیاد و اتساع (انبساط) حرارتی
- ۳- آثار گرادیان حرارتی در مقطع عضو
- ۴- آثار گرادیان حرارتی در لایه‌های متفاوت سازه فضاکار شبکه‌ای دو یا چند لایه
- ۵- سیلان و شکست تابع زمان علاوه بر آثار الاستیک
- ۶- گسیختگی تردگونه (اغلب در دمای پایین).

۳-۲-۵-۲-۲- آثار گرادیان حرارتی

براساس وضعیت واقعی سازه فضاکار و پوشانه‌ها و سیستم‌های تأسیساتی و شرایط آب و هوایی و سایر شرایط محتمل‌الوقوع، لازم است توزیع دما در مواضع متفاوت سازه فضاکار تخمین‌زده‌شده و آثار گرادیان حرارتی در مدل‌سازی و تحلیل و ترکیب بارها ملحوظ گردند. به ویژه در مورد شبکه‌های دو یا چندلایه و در حالتی که دمای داخل و خارج ساختمان متفاوت بوده و همچنین در موارد تابش آفتاب بر یک سمت یا یک‌لایه از شبکه در حالی که لایه‌ها یا بخش‌های دیگر سازه در معرض تابش آفتاب قرار نداشته باشند، بررسی این آثار الزامی است. در مدل‌سازی به این منظور، نوع و میزان قابلیت انتقال حرارت از طریق پوشانه‌ها را باید مورد توجه قرار داد.

در سازه‌های فضاکار شبکه‌ای فولادی، با توجه به مقدار قابل ملاحظه ضریب انتقال حرارت فولاد، در مواردی که سازه فضاکار فاقد پوشانه‌های حایز خاصیت ایزولاسیون حرارتی باشد، آثار تغییرات دمای فصلی کل سازه یا آثار تغییرات دما در مجموعه سازه (گرادیان حرارتی) می‌تواند قابل ملاحظه باشد.

همچنین در حد امکان، زمان ساخت و نصب بهتر است از سوی طراحان تعیین یا پیش‌بینی گردد و متناسباً تغییرات روزانه و فصلی دما و همچنین آثار گرادیان حرارتی برای دوره ساخت و نصب تخمین‌زده شود.

در مواردی نیز ممکن است بسته به نوع تکیه‌گاه‌ها و قيود حرکتی و رفتار درزهای انبساط ضرورت داشته باشد آثار نیروهای ناشی از تغییرات دما بر سازه فاقد پوشانه نیز در کوتاه مدت مورد بررسی قرار داده شود.

۳-۲-۵-۲-۳- تحلیل و طراحی آثار ناشی از تغییرات دما

در هنگام بررسی آثار حرارتی، به طور کلی، طراح سازه فضاکار گزینه‌های زیر را پیش رو دارد:

- الف -** طراحی اتصالات و درزهای لغزشی به منظور ایجاد امکان جابه جایی آزاد،
- ب -** طراحی میزان مصالح مصرفی مطابق با تنش‌های حرارتی حاصله (با فرض آنکه قید موجود در مقابل حرکت‌های حرارتی، از قید کامل به قید پاره‌ای متناسب با سختی بخش‌های دارای اندرکنش سازه بدل شده باشد)،
- پ -** تدابیری در جهت خنثی‌سازی و مقابله‌نمودن با ایجاد تغییرات دما اندیشیده شود.
- ت -** ترکیبی از مجموعه روش‌های فوق مورد بررسی قرار داده شود.

تفسیر - ذیلاً توصیه‌هایی به منظور طراحی و تحلیل سازه‌های فضاکار با دهانه‌های طویل، تحت اثر تغییرات دماهای اعمال شده بر اعضای سازه‌ای مطابق با روش ب فوق ارائه می‌گردد:

۱ - تحلیل اولیه

- تهیه طرح شماتیک اعضای سازه فضاکار در معرض کنش‌های جوی،
- اعمال مفروضات ساده‌کننده (درحد قابل دفاع) برای تحلیل،
- مدل‌سازی کامل هندسی و شرایط مرزی سازه و اختیار نمودن سختی تقریبی برای سازه و دستگاه‌های تکیه‌گاهی، پوشانه‌ها، مهاربندی‌ها، پایه‌ها و...
- اختیار مقادیر تغییرات دما (افزایش و یا کاهش) با توجه به شرایط جوی و موقعیت استقرار سازه در مناطق سردسیر، گرمسیر یا معتدل با فرض تغییرات دمای یکنواخت اعمال شده بر سازه،
- اختیار نمودن ضریب انبساط حرارتی مناسب برای مصالح سازه‌ای و غیرسازه‌ای،
- تحلیل سازه فضاکار تحت آثار تغییرات دما و به دست آوردن تغییر شکل‌ها، کرنش‌ها و تنش‌های حرارتی حاصله،
- مقایسه بزرگی تغییر شکل‌های حاصله با مقادیری که به عنوان معیار طراحی اختیار گردیده‌اند:
- در صورتی که تغییر مکان‌های بیشینه ناشی از تغییرات دما از معیار از پیش تعیین شده‌ای که با اصول منطقی تئوری سازه‌ها سازگار باشد (تغییر مکان هدف)، تجاوز نماید، طراحی باید با در نظر گرفتن این آثار ادامه یابد یا طرح به منظور کاهش آثار ناشی از تغییرات دما مورد تجدیدنظر قرار داده شود.
- در صورتی که تغییر مکان‌های بیشینه حرارتی از معیار اختیار شده حلقه‌ای کم‌تر باشند، از آثار حرارتی صرف‌نظر گردد.
- در حد فاصل بین دو معیار فوق، تحلیل اولیه کافی تلقی می‌گردد.
- طراحی اولیه اعضای سازه‌ای به منظور تعیین ابعاد مقاطع انجام شود.

۲ - طراحی نهایی

- سختی‌های اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای بر اساس طرح اولیه تعیین گردد،
- توزیع دمای سازه فضاکار و آثار گرادیان حرارتی در تمامی حالات بیشینه و کمینه تعیین شود،
- نتایج تحلیل تحت آثار حرارتی با نتایج حاصله از تحلیل تحت اثر سایر بارهای مربوط، با دیدگاه احتمال‌اندیشانه ترکیب گردند،
- اعضای سازه‌ای مورد طراحی تفصیلی قرار داده شوند،
- جزییات اجزای غیرسازه‌ای با توجه به مفروضات طراحی تهیه گردند.

تفسیر - اعضای غیرسازه‌ای مانند تیغه‌های جداگر در اثر تغییر مکان‌ها و حرکت‌های ناشی از تغییرات دمای سازه مستعد بروز خسارت هستند. تغییر مکان‌های اعضای سازه‌ای در تماس با تیغه‌ها را باید در صورت عدم جداسازی تیغه‌ها و در صورت تماس با تیغه‌ها، به دقت مورد کنترل قرار داد و

محدود نمود. در غیر این صورت، ممکن است لازم باشد درز جدایی بین تیغه‌ها و سازه اصلی ایجاد نمود. تیغه‌های غیرسازه‌ای از نظر مقاومت در مقابل نیروهای جانبی متعامد بر آنها، باید بر سازه اصلی تکیه نمایند، ولی نباید در درون صفحه خود، به نحوی به سازه متصل گردند که مانع عملکرد فرض شده سازه شوند، مگر آنکه مشارکت تیغه‌ها و نحوه توزیع آنها در پلان سازه در طراحی مورد نظر بوده و به این منظور سیستم ترکیبی طراحی شده باشد انتظار نمی‌رود چنین سیستمی در سازه‌های فضاکار عملکرد کارا و مناسبی از خود نشان دهد.

نامطلوب‌ترین نوع ترک‌های ناشی از تغییرات دما در تیغه‌هایی مشاهده می‌گردند که به طور تنگاتنگ به سازه متصل گردیده‌اند.

چند راه حل در ارتباط با طراحی جزئیات تیغه‌ها به شرح زیر به نظر می‌رسد:

۱- دیوارهای شبکه‌ای باربر به منظور مقاومت در مقابل تنش‌های حاصله طراحی گردند. در بسیاری از سازه‌های فضاکار، تنها سقف‌ها و کف‌ها و پوشش از نوع فضاکار هستند که اغلب متکی بر مجموعه پایه‌های دارای دیوارهای قائم برشی یا سیستم‌های مهاربندی شده مقاوم در مقابل نیروهای جانبی می‌باشند.

۲- درز جدایی بین تیغه‌ها و عناصر غیرسازه‌ای و اعضای سازه پیش‌بینی گردد؛ به نحوی که امکان حرکت نسبی کافی در پیرامون تیغه‌ها فراهم شود. در این حالت توصیه می‌شود میزان جابه‌جایی سازه فضاکار در اثر تغییر دما تخمین زده شده و آزادی حرکت نسبی اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای به میزان مکفی فراهم شود.

۳-۲-۶- بارهای ناشی از برف

۳-۲-۶-۱- کلیات

بار برف وارده بر بام بستگی به شرایط آب و هوایی، فرم، نوع، ابعاد، نسبت، ناحیه و جهت استقرار سازه و میزان تصعید حرارت از طریق بام و تفاوت دمای داخل سازه و خارج آن دارد. بار برف مینا (تابع آب و هوا و شرایط اقلیمی) عبارت است از حداکثر بار برف قابل انتظار (برحسب وزن بر واحد سطح) در دوره بازگشت متوسط تعیین شده (به طور نمونه، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و یا ۲۰۰ سال). معمولاً نقشه‌هایی که دارای خطوط هم‌تراز بار برف مینا می‌باشند، در کشورها در مقیاس درشت نمود تهیه شده‌اند و چنین نقشه تقریبی نیز در نشریه شماره ۵۱۹ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و مبحث ششم مقررات ملی ساختمان کشور ارائه شده است. بار برف یکی از مؤثرترین کنش‌های وارده بر سازه‌های فضاکار پوشاننده فضاهای وسیع در مناطق سردسیر و معتدل به شمار می‌رود. با توجه به آنکه نسبت بار برف به بار مرده سازه‌های فضاکار در مناطقی از کشور قابل ملاحظه است، نحوه توزیع بار برف در این نوع سازه‌ها نقش مهمی در طراحی اجزای سازه فضاکار ایفا می‌نماید. از اینرو بارهای ناشی از برف که در دسته‌بندی‌های بارهای ثقیل و بارهای ناشی از شرایط جوی نیز قرار می‌گیرند، با توجه به اهمیت به طور جداگانه در این آیین‌نامه مورد بحث قرار داده شده‌اند. ملزومات بارگذاری برف در آیین‌نامه‌های ساختمانی رایج از جمله نشریه شماره ۵۱۹ و مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران که برای سازه‌های متعارف تهیه شده‌اند، نمایشگر کنش‌های ناشی از برف در چنین سازه‌هایی تلقی نمی‌گردند. لذا تدوین دستورالعمل ویژه این نوع از سازه‌های فضاکار به منظور تدقیق مقدار و شناخت نحوه توزیع فضایی بار برف جهت ارائه طرح‌های بهینه مورد نیاز می‌باشد. با وجود این تا تدوین چنین دستورالعملی، با توجه به موارد مندرج در بندهای ۳-۲-۳ تا ۳-۲-۶ بارهای ناشی از برف وارد بر سازه‌های فضاکار مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران در نظر گرفته می‌شوند.

شدت و شیوه توزیع بار برف روی سقف‌ها تابعی از شرایط آب و هوایی، توپوگرافی، شکل ساختمان و مصالح پوشش سقف، دمای سقف برف‌گیر، جهت کل باد و زمان می‌باشد. تمامی حالات محتمل بارگذاری از قبیل بارگذاری برف متقارن، نامتقارن، برف انباشتی موضعی، یخبندان کلی یا موضعی، آویزه‌های یخی (قندیل) و نظایر آن باید در بارگذاری ملحوظ گردد.

تفسیر- به علت تغییرات آب و هوای یک کشور و بین کشورهای متفاوت، مقایسه مستقیم بارگذاری برف ارایه شده در آیین‌نامه‌های ساختمانی کشورهای متفاوت نتیجه بخش نخواهد بود. بیش از آن، این امر اهمیت دارد که پدیده‌های شناخته‌شده توزیع برف بر بام سازه‌های فضاکار بادیه‌های متفاوت مورد مطالعه قرار داده شود که این امر با توجه به موارد کاربرد متداول سازه‌های فضاکار مشمول این آیین‌نامه شایسته مطالعه ویژه است. لازم به یاد آوری است که نحوه اعمال بار برف به صورت توصیه شده در مبحث ششم مقررات ملی ایران برای برخی از فرم‌های ساختمانی در تناقض آشکار با توصیه‌های آیین‌نامه اروپا می‌باشد و به نظر می‌رسد تصحیحات و تجدید نظر در این زمینه در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران ضروری باشد. همچنین ضرورت دارد به بارگذاری برف در مورد برخی از فرم‌های رایج مانند گنبدها نیز پرداخته شود.

۳-۲-۶-۲- بار برف وارده بر زمین

در هر ناحیه آب و هوایی مهم (که در یک کشور پهناور مثل ایران نواحی متفاوتی از نظر آب و هوایی وجود دارد)، سنگین‌ترین بار برف وارده بر زمین بسته به منطقه، ناحیه و محل متغیر خواهد بود. میزان بار برف به منظور طراحی بر اساس داده‌های موجود و ثبت شده در منطقه ساختگاه، موقعیت جغرافیایی، شرایط توپوگرافی محل، امتداد و جهت گل باد و سایر عوامل ذیربط برای ساختگاه تخمین زده می‌شود.

تفسیر- تغییرات منطقه‌ای و برخی از تغییرات ناحیه‌ای (وابسته به ارتفاع از سطح آب آزاد و فاصله از دریا و نظایر آن) می‌تواند قابل ملاحظه باشد. در اغلب موارد، نیاز به تعریف جداگانه‌ای از بارها برای این نواحی واقع در یک منطقه وجود خواهد داشت. طبعاً، لازم است تعداد نواحی با بارهای متفاوت را در آیین‌نامه‌های بارگذاری محدود نماییم و از تغییرات موضعی - مگر در صورت تأثیر قابل اعتنا - در به دست آوردن بار برف متوسط منطقه‌ای صرف نظر نماییم. حالت بار برف بیشینه ممکن است در اثر ریزش یک برف سنگین یا انباشته شدن برف‌های پی در پی یا ریزش برف و به دنبال آن باران باشد. در هر موقعیت معین، اندازه‌گیری ضخامت برف و چگالی آن یا ارتفاع آب معادل آن، در طول سال‌های متممادی به عمل آمده و مقدار بیشینه سالانه در دوره زمانی قابل ملاحظه مقایسه با عمر مفید سازه محاسبه می‌گردد. جهت تخمین بار بیشینه برای دوره‌ای به طول تقریبی معادل عمر مفید سازه، گاه تحلیل آماری با استفاده از توزیع مقدار بیشینه صورت می‌گیرد. این مطالعات، منتج به تخمین بیشینه بار برف مورد انتظار روی سطح زمین در یک دوره بازگشت مشخص خواهد گردید.

۳-۲-۶-۳- بار برف وارده بر بام و پوشانه سازه‌های فضاکار

در مورد سازه‌های فضاکار پوشاننده فضاهای وسیع فاقد ستون‌های میانی در دو امتداد متعامد بارهای برف در مناطق سردسیر و معتدل، اغلب نقش تعیین‌کننده در طراحی سازه فضاکار خواهند داشت. بار برف ماهیتاً ثقلی محسوب گردیده و به صورت قائم بر مساحت سطح افقی حاصل از تصویر سطح بام شیب‌دار یا رویه‌های منحنی شکل اعمال می‌گردد. جز در مناطق کم باد یا حفاظدار، بار وارده بر بام سازه معمولاً از بار برف وارده بر سطح زمین با همان مساحت، کوچک‌تر خواهد بود. زیرا بخشی از برف فرود آمده بر بام به وسیله باد پراکنده می‌گردد. همچنین باد می‌تواند بخش‌هایی از برف برجای مانده را هم به تدریج بردارد. به علت افزایش دما یا گرم شدن بام از طبقه زیرین و انتقال حرارت از طریق مصالح پوشانه بام، بخشی از برف تبخیر و یا ذوب می‌شود. گاه از روش‌های گرم کردن پوشانه به منظور عدم تجمع برف در سازه‌های فضاکار پوشش دهانه‌های وسیع در دو امتداد متعامد بهره‌گیری می‌شود. از طرف دیگر ذوب شدن و به دنبال آن کاهش دما و یخبندان متعاقب آن، ممکن است مانع جابه جایی برف از بام توسط باد گردد.

موارد فوق و همچنین احتمال نزول برف از بخش‌های مرتفع‌تر بر پوشانه مورد بحث نه تنها کل بار را تغییر می‌دهد، بلکه نحوه توزیع بار برف را نیز دگرگون می‌نماید. در حالتی که شکل و فرم بام موجب کاهش سرعت باد در موضعی از بام گردد، ممکن است در آن موضع، شدت بار برف از شدت بار برف روی زمین افزون‌تر باشد.

نسبت بار برف وارده بر بام به بار برف روی زمین به طور عمده به فرم سازه، شیب سقف‌ها، میزان زبری سطوح در معرض بارش برف سرعت و جهت و طول مدت وزش باد و شرایط تابش خورشید بستگی دارد و توزیع بار برف بر بام سازه فضاکار باید با توجه به این عوامل و شروط، تخمین‌زده شود و لذا در حالت‌های متفاوتی مانند اعمال بار گسترده یکنواخت یا به صورت نامتقارن یا با انباشتگی موضعی با توجه به جمیع جهات ملحوظ گردد.

تفسیر - معمولاً روش‌های آماری با کاربرد به مراتب کلی‌تر، مورد استفاده قرار می‌گیرند که طی آن مقادیر بارهای برف بر تعداد قابل ملاحظه‌ای از سازه‌های دارای فرم و نوع خاص، اندازه‌گیری شده و روابطی برای بار برف روی سازه برحسب بار برف میانگین منطقه‌ای روی زمین تهیه و به کار برده می‌شود.

۳-۲-۶-۴- بارهای برف، یخ و انباشت آب باران و یخ

براساس داده‌های موجود، تاریخی و شرایط اقلیمی و آب و هوایی و مسیر مسلط گل باد، لازم است بارهای مربوطه به صورت بارهای مبنا برای ساختگاه تعیین شوند.

با توجه به فرم سازه فضاکار، انحنا یا شیب رویه تمام‌شده بیرونی، زبری پوشانه‌ها، باید توزیع بار برف را در شرایط محتمل بر سازه فضاکار به دست آورد. اثر باد بر برف و جابه‌جایی آن و امکان بروز یخ‌بندان و انباشت یخ، در بررسی‌ها گنجانده شود. در مواردی که به دلیل نارسایی‌های محتمل و سیستم زهکشی احتمال انباشت آب ناشی از ذوب یخ یا آب باران وجود داشته‌باشد، باید این اثر در نظر گرفته شود. همچنین تشکیل قندیل‌های آویز از لبه‌های بام‌ها، در صورت محتمل بودن، باید تخمین و ملحوظ گردد. باید از احتمال تشکیل فروافتادن چنین قندیل‌هایی در مواردی که می‌تواند منجر به اعمال صدمات و یا خساراتی گردد، با زهکشی مناسب شود.

۳-۲-۶-۵- ملاحظات کلی در تعیین بارهای برف

با توجه به آنکه در اغلب سازه‌های شبکه‌ای فضاکار با توجه به سبکی نسبی وزن سازه فضاکار پوشش بام‌ها، نسبت بار برف به بار مرده قابل ملاحظه می‌باشد، ملاحظات زیر را در بارگذاری برف در مورد سازه‌های فضاکار مزبور، به ویژه سازه‌های فضاکار مورد بهره‌گیری در پوشش فضاهای وسیع در دو راستای متعامد، بدون ستون‌های میانی قابل توصیه‌اند:

تفسیر - تجارب حاصل از فروریزی تعداد قابل ملاحظه‌ای سازه با دهانه‌های بزرگ در اثر ریزش برف سنگین در زمستان ۱۳۸۵ در چندین کشور از جمله آلمان، شمال هندوستان، چین، اروپای شرقی، روسیه و ایران (گیلان) نشان‌دهنده ضرورت تجدید نظر در دیدگاه‌های طراحی برای بارهای برف و بارگذاری کنش‌های ناشی از برف بوده است. لذا تا انجام مطالعات گسترده‌تر و در اختیارداشتن شواهد متقن در این زمینه، توصیه‌های محافظه‌کارانه این بند برای گروهی از سازه‌های فضاکار مشخص شده در زیر، ارایه گردیده‌اند.

- بار برف بدون ضرایب کاهش سربار اعمال گردد.

- کوشش به عمل آید برای ممانعت از انباشت برق و یخ از المان‌های گرم‌کننده، به قصد ذوب برف و یخ پوشانه بام بهره‌گیری شود.

- در مورد سازه‌های فضاکار مهم که انتظار می‌رود در گروه عمر مفید ۳ و ۴ قرار داشته باشند (دارای عمر مفید ۵۰ سال یا بیشتر) و پوشش فضاهایی را تأمین می‌نمایند که افراد بالنسبه زیادی را در خود جای می‌دهند یا تجهیزات یا مدارک حایز اهمیتی را پوشش می‌دهند یا به عنوان پوشش محفظه‌هایی به کار گرفته می‌شوند که موادی را دربردارند که آزادشدن آنها خطرآفرین خواهد بود و یا ساختمان‌هایی که برای بهره‌گیری در مدیریت بحران پس از وقوع سوانح طبیعی در نظر گرفته شده‌اند و همچنین ساختمان‌های پرهزینه با اهمیت نمادین یا استراتژیک، بار برف باید در دو سطح با توجه به دوره بازگشت طولانی مدت متناسب با احتمال اندک وقوع در عمر مفید ساختمان (سطح ایمنی) و احتمال وقوع قابل قبولی طی عمر مفید (سطح بهره‌برداری با احتمال وقوع قابل ملاحظه در عمر مفید) تعیین و در هر دو سطح ترازهای عملکردی مورد انتظار از سوی طراحان تعیین و به تأیید کارفرما برسد.

- در دیدگاه طراحی مبتنی بر عملکرد بار برف در دو تراز بهره‌برداری (با دوره بازگشت قابل مقایسه با عمر مفید سازه) و در تراز ایمنی (با دوره بازگشت به مراتب افزون‌تر از عمر مفید سازه و احتمال وقوع اندک) همراه با تبیین معیارهای عملکردی متناسب، صورت می‌گیرد.

۳-۲-۷- بارهای تابع تغییرشکل

تغییرشکل سازه‌ها باعث جابه‌جایی بار می‌شود و گاهی این جابه‌جایی باعث افزایش اثر آن خواهد شد. پدیده موسوم به اثر $P-\Delta$ ناشی از اثر اندرکنش بارهای ثقلی و تغییر مکان‌های جانبی، نمونه‌ای از این نوع افزایش اثر بار در اثر جابه‌جایی آن در قاب‌های ساختمانی و ستون‌ها می‌باشد. گاه در اثر تغییرشکل سازه، میزان بار وارده بر کل سازه و یا منطقه‌ای از سازه (که معمولاً مواضع حساس و بحرانی می‌باشند) افزایش می‌یابد. لذا به این بارها تابع تغییرشکل سازه می‌باشند.

تغییر میزان بارهای وارد بر سازه و آثار ناشی از آن، در سازه‌های با دهانه و ابعاد بزرگ می‌تواند حایز اهمیت ویژه باشد و باید در تحلیل و طراحی سازه و جزئیات آن منظور گردد.

بارهای تابع تغییر شکل برحسب نوع و کاربرد سازه فضاکار، ممکن است به صورت‌های گوناگونی اعمال گردند. مثال‌هایی از این نوع بارها به این قرار می‌باشد:

- انباشتگی و یا ایجاد حوضچه آب، این نوع بار از بارزترین نمونه‌های بار تابع تغییرشکل بوده و به سرازیر و جمع و روان‌شدن فزاینده آب به سمت "داخل و مرکز" سازه‌های سقفی تخت افقی بدون شیب یا کم شیب اطلاق می‌گردد. این پدیده ممکن است ناشی از بارش شدید و سیل آسای باران‌های به ویژه موسمی؛ یا ذوب شدن سریع برف در مناطق "داخلی" یک سازه سقفی در اثر افزایش ناگهانی دمای محیط یا داخل به طور طبیعی و یا مصنوعی مثل "گرمکن‌های برقی" و عدم زهکشی و کفایت آبروها و ناودانی‌های تخلیه آب و یا همزمانی بارش باران و یا ذوب شدن برف در مناطقی از سطح سازه با مسدودشدن و یا انجماد و در سایه قرارگیری مسیر و محل عبور و تخلیه آب حادث گردد. جنس، هندسه و نحوه قرارگیری پوشانه نیز امر انباشتگی آب را می‌تواند شدت بخشد. به عنوان مثال در مورد پوشش‌های پاشامی با انعطاف زیاد، به ویژه در صورت دارا بودن مقاومت زیاد، انباشتگی موضعی آب شدت خواهد یافت.

- انباشتگی و غلت خوردن و جمع شدن "بهمن‌گونه" برف در مناطق مرکزی و داخلی سقف‌های بزرگ در اثر افزایش تغییرشکل سازه.
- افزایش انباشتگی مواد ریزدانه، موادی مثل گرده بینه‌های چوبی، مواد و یا وسایلی به شکل بشکه و کره که در اثر تغییرشکل سازه و پیدایش شیب به طرف مرکز سازه، امکان سرخوردن یا غلتیدن جابه‌جایی به طرف وسط دهانه سازه را دارند.
- افزایش ارتفاع آب (و یا دیگر مایعات) در پشت سازه‌های فضاکار دیواره‌ای در اثر افزایش تغییرشکل که منجر به افزایش فشارهیدرواستاتیکی خواهد شد.
- افزایش قندیل‌های یخی به علت به وجود اختلاف دما در نواحی متفاوت سازه‌های وسیع و ذوب برف و جاری شدن و افزایش یخ‌زدگی قندیل‌های آویخته.
- برای جلوگیری از آثار نامطلوب ناشی از افزایش بارها در اثر افزایش تغییرشکل، باید به یکی از طرق زیر عمل شود:
- با شیب‌بندی و جزییات مناسب امکان انباشتگی و افزایش بارها حذف گردد. در سازه‌های با پوشانه‌های انعطاف‌پذیر، طبعاً نیاز به شیب‌بندی از پوشانه‌های صلب افزون‌تر خواهد بود.
- در سازه‌های با انحنای منفی (کاو) تمهیدات ویژه‌ای نسبت به عبور و زهکشی آب و ممانعت از آب انباشتگی و انباشت یخ باید منظور گردد.
- با افزایش سختی سازه و کاهش تغییر شکل با بارهای ناشی از تغییرشکل سازه تقلیل داده شود به نحوی که افزایش محتمل بار منجر به بروز ناپایداری سازه نگردد.
- باید توجه داشت که در صورتی که آثار ناشی از بارهای تابع تغییرشکل سازه به میزانی قابل ملاحظه باشد که نیاز به تحلیل این آثار باشد، با توجه به ماهیت بارها، تحلیل باید با توجه به آثار غیرخطی هندسی و مصالح صورت گیرد.

۳-۲-۸- آثار ناشی از اختلاف نشست

نشست تکیه‌گاه‌های سازه‌ها معمولاً از سه جنبه مورد بررسی قرار داده می‌شود:

- نشست مطلق کلی (نشست متجانس)،
 - نشست نسبی (اختلاف نشست یا نشست نا متجانس)،
 - نشست با تغییرات خطی منجر به دوران مجموعه پی و سازه.
- نشست مطلق کلی یکنواخت تکیه‌گاه‌ها با ماهیت استاتیکی، از دیدگاه حالات‌های حدی نهایی معمولاً برای تمامیت سازه منجر به نقض معیارهای پذیرش نگردیده، ولی از نقطه نظرات مرتبط با حالات حدی بهره‌برداری، بسته به مقدار نشست، ممکن است به نقض معیارهای مربوط بینجامد. معمولاً آثار مربوطه به ویژه در مورد خطوط تأسیساتی باید مورد بررسی قرار داده شده و مقادیر بیشینه مجاز نشست مطلق کلی سازه بسته به نوع سازه و پی در مشخصات فنی طرح تعیین گردد.

نشست نسبی متزاید می‌تواند تاثیرات قابل ملاحظه‌ای بر پی و سازه داشته باشد. برای سازه‌های فضاکار که دارای درجه نامعینی زیادی می‌باشند، آثار ناشی از اختلاف نشست در باز توزیع لنگرهای خمشی، نیروهای برشی و نیروهای محوری و اعضا و نیروها و لنگرهای وارده بر اتصالات می‌تواند قابل ملاحظه باشد.

بنابراین در طراحی پی‌های سازه‌های فضاکار بایستی نکات زیر را در نظر گرفت:

(الف) مقدار نشست نسبی تکیه‌گاه‌ها به میزان مشخصی محدود گردد تا اثر آن بر رفتار مجموعه و اعضا و اجزای سازه فضاکار ناچیز باشد.

(ب) در مشخصات فنی طرح، با توجه به ویژگی‌های طرح و نوع سیستم سازه و شیوه بهره‌برداری، باید حد مشخصی برای اختلاف نشست مجاز پی‌های پایه‌های مجاور یکدیگر تعیین گردد.

(پ) در صورت تجاوز از حد ذکر شده، اثر نشست نامتجانس پی‌ها باید برای بحرانی‌ترین حالات محتمل مورد بررسی قرار داده شود.

(ت) آثار نشست نامتجانس احتمالی که در عمر سازه ممکن است اتفاق بیفتد و می‌تواند رفتار سازه فضاکار را تحت تأثیر قرار دهد، باید در طراحی به گونه مناسب مد نظر قرار داده شود. هرگونه علایم بروز این نوع اختلاف نشست، باید در گزارش‌های بازرسی فنی ثبت و اقدامات به موقع نگهداری یا بهسازی در این زمینه به عمل آید.

(ث) احتمال بروز روانگرایی و یا گسترش جانبی خاک در مورد خاک‌های مستعد بروز این پدیده تحت تأثیر زلزله باید در طراحی لرزه‌ای سازه فضاکار مورد بررسی قرار داده شود و مرجحاً اقدامات بهسازی خاک زیرشالوده یا طراحی شالوده از نوع عمیق برای کاهش بروز آثار مخرب ناشی از چنین پدیده‌هایی به عمل آید.

۳-۲-۹- آثار ناشی از نامیزانی

در بافت، ساخت و نصب و سایر عملیات اجرایی سازه‌های فضاکار اغلب به دو دلیل نامیزانی اتفاق می‌افتد:

(الف) - عدم دقت در ساخت اعضا، اتصالات و پی‌ها،

(ب) - عدم دقت در اجرا (به‌ویژه پیاده‌سازی محورها).

اگر در فرایند بافت، ساخت و اجرای سازه‌های فضاکار، مسأله نامیزانی برای اعضای سازه‌ای پیش آید یا به عبارت دیگر طول واقعی عضو کوچک‌تر یا بزرگ‌تر از طول آن در وضعیت نهایی اجرا باشد، اگر نیروی لازم برای کشیدن عضو کوتاه‌تر و یا برای فشردن عضو بلندتر جهت جاگذاری کوچک‌تر از ۱۰٪ نیروی محوری طراحی عضو باشد، می‌توان از اثر این نامیزانی صرف‌نظر کرد، در غیر این صورت، نیروهای پیش‌تنیدگی مذکور باید در تحلیل و طراحی سازه فضاکار مدنظر قرار داده شوند.

اگر در طی ساخت، بافت و نصب سازه‌های فضاکار، مسأله نامیزانی برای اتصالات پیچی پیش آید یا به عبارت دیگر در صورتی که کاهش سختی ناشی از شلی و افزایش سختی ناشی از سفتی اتصالات کمتر از ۲۰٪ سختی اسمی اتصال باشد، می‌توان از این اثر صرف‌نظر کرد، در غیر این صورت باید تغییر در سختی اتصال در تحلیل و طراحی سازه فضاکار و طراحی اتصال و عضو مدنظر قرار گیرد. در اینجا، حالت شلی یا پیش‌تنیدگی پیچ‌ها در مقایسه با حالت سفتی ایجادکننده تماس عضو و پیونده مورد نظر می‌باشد.

۳-۲-۱۰- آثار ناشی از پیش‌تنیدگی

پیش‌تنیدگی در اعضا و اتصالات سازه‌های فضاکار به دو گونه می‌تواند اتفاق بیفتد:

الف) اعمال پیش‌تنیدگی معین

ب) اعمال پیش‌تنیدگی تصادفی ناشی از نامیزانی

در صورتی که با هدف خاصی، پیش‌تنیدگی به برخی از اعضای سازه‌های فضاکار اعمال شود، در این صورت نیروهای ناشی از پیش‌تنیدگی مذکور باید در تحلیل و طراحی سازه‌های فضاکار و اعضای آن ملحوظ گردند. در خصوص اعمال پیش‌تنیدگی ناشی از نامیزانی به بند (۳-۲-۶ - آثار ناشی از نامیزانی) مراجعه شود.

۳-۲-۱۱- بار باد

۳-۲-۱۱-۱- کلیات

در بندهای ذیل، ملزومات و شیوه‌های محاسبه بارهای ناشی از باد بر انواع سازه‌های فضاکار مشمول این آیین‌نامه، زیرمجموعه‌ها و اجزای سازه و همچنین اجزای غیرسازه‌ای و پوشانه‌های سازه فضاکار ارایه گردیده‌اند. این ملزومات عمدتاً در مورد سازه‌های فضاکار دارای انتظام هندسی و تقارن در توزیع سختی و جرم صادق بوده و با انحراف از این ویژگی‌ها، میزان دقت در کاربرد این ملزومات نیز کاهش می‌یابد. در مورد سازه‌های نامنظم، شامل سازه‌هایی با شکل هندسی متفاوت با اشکال مورد بحث در این قسمت، سازه‌های دارای فرم‌های هندسی پیچیده، سازه‌های واقع در ساختگاه‌های با آثار نامعمول باد یا مواردی که نوع و رفتار پوشانه‌ها به گونه‌ای است که تخمین پاسخ دینامیکی سیستم به آثار ناشی از باد مستلزم بررسی‌های ویژه است، باید از مطالعات عددی و آزمایشگاهی متناسب با نوع و میزان اهمیت پروژه بهره‌گیری شود. انجام آزمایش‌های تونل باد بسته به امکانات قابل دسترسی در مقیاس‌های واقعی یا بر مدل‌های به مقیاس کوچک‌شده، همراه با مدل‌سازی و تحلیل واقع‌گرایانه آثار توأم باد و سازه به منظور تعیین آثار ناشی از باد بر سازه و پاسخ دینامیکی سازه در این حالت‌ها ضروری خواهد بود؛ معذک در مواردی که امکانات انجام آزمایش‌های تونل باد با دقت مورد نظر فراهم نباشد، مطالعات عددی روشنگر رفتار دینامیکی سازه در مقابل آثار محتمل ناشی از باد به‌عنوان مطالعات حداقل برای چنین سازه‌هایی الزامی است.

در بندهای زیر اثر باد بر سازه‌های متشکل از سقف‌های با فرم‌های هندسی تخت، استوانه‌ای، محدب (چلیک‌ها)، سازه‌های گنبدی شکل و سقف‌های طره‌ای در حالت مستقر بر زمین و یا دارای ارتفاع نسبت به تراز سطح زمین، مورد بحث قرار داده شده است. چنانکه ذکر شد، انواع سازه‌های فضاکار دیگر را باید مرجحاً با شبیه‌سازی دقیق فرم و مصالح در تونل باد آزمایش نموده، فشارهای ناشی از باد را برای بارگذاری، تحلیل و طراحی آنها به دست آورد.

تفسیر - لازم به یادآوری است که بار باد وارده بر سازه فضاکار نیمه‌تمام در تمامی مراحل ساخت و نصب باید به نحوه واقع‌گرایانه‌ای توسط طراح تخمین زده شود و تمهیدات لازم برای پایدارسازی سازه نیمه تمام تحت تأثیر وزش باد محتمل در بازه زمانی ساخت پیش‌بینی گردد.

با توجه به تعداد قابل ملاحظه اعضای سازه‌های فضاکار شبکه‌ای و احتمال قابل ملاحظه بودن آثار باد بر مجموعه اعضا و پیوندهای سازه فضاکار، ممکن است در مواردی ضرورت یابد آثار ناشی از بار باد بر سازه فضاکار فاقد پوشانه نیز در کوتاه مدت مورد بررسی قرار داده شود. در تمامی حالات ممکن، باید اثر موضعی باد بر اعضای سازه شبکه‌ای فضاکار مطابق ملزومات مندرج در این آیین‌نامه در تحلیل و طراحی ملحوظ گردد.

اتصالات تکیه‌گاه‌ها به شالوده‌ها باید به نحوی طراحی شوند و مهار پی در زمین یا وزن شالوده باید به گونه‌ای اختیار گردد که بار برگش ناشی از باد را با حاشیه ایمنی کافی خنثی نماید. به این منظور برای دهانه‌های وسیع ممکن است بسته به باز یا بسته‌بودن دیواره‌ها نیروی برگش به میزانی باشد که در برخی یا تمام تکیه‌گاه‌ها، احداث پی شمعی یا شالوده حجیم و سنگین برای جلوگیری از برگش سازه ضروری می‌باشد و

در این حالات اتصالات سازه به اجزای تکیه‌گاهی، پایه و پی باید قادر به تحمل جمع جبری نیروی برگش و نیروهای ثقلی و سایر نیروهای ذریبط در ترکیب بار مورد مطالعه باشد. در این حالت، ضریب ایمنی مکفی برابر با ۱/۷۵ توصیه می‌شود. معمولاً باید حالات ترکیب بار مورد بررسی شامل حالات مقادیر بیشینه اثر نیروی برگش باد در ترکیب با مقادیر کمینه بارهای مرده (با اعمال ضریب کاهش ۰/۹ بر بارهای مرده)، بدون در نظر گرفتن سایر بارهای ثقلی نیز باشد.

۳-۲-۱۱-۲- تعاریف

- سرعت باد مبنا

سرعت باد اندازه‌گیری شده به مدت ۳ ثانیه در ارتفاع ۱۰ متری از تراز سطح زمین باز در موقعیتی که ارتفاع موانع پراکنده اطراف محل اندازه‌گیری از ده متر کمتر باشد. سرعت باد مبنا برای دوره بازگشت متوسط ۵۰ ساله با احتمال وقوع سالانه‌ای برابر با ۲٪ در نظر گرفته می‌شود. سرعت باد مبنا را باید از داده‌ها و اطلاعات سازمان هواشناسی و یا مدارک معتبر استحصال نمود.

- سازه‌های فضاکار باز

سازه‌هایی که مساحت سطوح بازشو در وجوه جانبی آنها حداقل ۸۰٪ مساحت ظاهری سطوح جانبی آنها است.

- سازه‌های فضاکار نیمه بسته

به سازه‌هایی اطلاق می‌شود که دو شرط زیر را ارضا نمایند:

الف - مساحت سطح کل بازشوها در وجهی که فشار بیرونی بر آن وارد می‌شود، به میزان ده درصد از مجموع مساحت سطوح بازشوها در بقیه وجوه سازه (شامل دیوارها و سقفها) افزون تر باشد.

ب - مساحت سطح کل بازشوها در دیوار یا وجهی که فشار بیرونی بر آن وارد می‌شود، کوچک‌تر از ۱٪ مساحت آن وجه باشد و در عین حال، مجموع مساحت بازشوها در سایر وجوه سازه از ۲۰٪ تجاوز ننماید.

- سازه‌های فضاکار بسته

سازه‌هایی که با شرایط سازه‌های باز یا نیمه بسته مطابقت نداشته باشند، در این گروه طبقه‌بندی می‌گردند.

- اجزای فرعی و پوشاننده‌ها

به عناصری اطلاق می‌شود که سهمی در سیستم اصلی مقاوم در برابر نیروی باد نداشته و صرفاً نقش انتقال بارهای موضعی باد به اعضای اصلی سازه مقاوم را ایفا می‌نمایند.

- سطح مؤثر باد

به سطحی گفته می‌شود که برای تعیین ضرایب فشار باد به کار برده می‌شود.

- سازه‌های انعطاف‌پذیر

به سازه‌هایی اطلاق می‌شود که دارای بسامد طبیعی اساسی کمتر از ۱ هرتز باشند. سازه‌هایی لاغر تلقی می‌گردند که نسبت ارتفاع آنها به بعد کوچک ساختمان از ۴ تجاوز نماید.

- سیستم اصلی مقاوم در برابر نیروی باد

مجموعه‌ای از اجزای سازه که صرف‌نظر از اثرات موضعی در مسیر انتقال نیروهای ناشی از باد قرار داشته و برای مقاومت در مقابل نیروهای ناشی از باد و تأمین تعادل و پایداری کل سازه در مقابل باد در نظر گرفته شده‌اند. این سیستم عموماً بار باد را در بیش از یک سطح (وجه) دریافت و منتقل می‌نماید.

۳-۱۱-۲-۳- روش‌های محاسبه بارهای باد

روش‌های مجاز تحلیل آثار ناشی از بارهای باد عبارت‌اند از:

الف) روش تحلیل استاتیکی

ب) روش تحلیل دینامیکی

پ) روش تجربی

۳-۱۱-۲-۳-۱- روش تحلیل استاتیکی

فشارهای باد طراحی و نیروهای باد مطابق ۳-۱۱-۲-۳ تعیین می‌شوند. آثار ناشی از باد باید برای سیستم‌های اصلی مقاوم در برابر نیروی باد و همچنین برای اجزای فرعی و پوشانه سازه‌های فضاکار محاسبه شوند.

۳-۱۱-۲-۳-۲- روش تحلیل دینامیکی

ساختمان‌ها و سازه‌هایی که ارتفاع آنها بزرگ‌تر از چهار برابر حداقل عرض مؤثر و یا بزرگ‌تر از ۱۲۰ متر باشد و یا سازه‌هایی که وزن، بسامد و میرایی آنها باعث می‌شود تا سازه در معرض ارتعاشات با پریود نوسان طولانی قرارگیرند، باید به صورت زیر طراحی شوند.

الف) از روش‌های تجربی برای بررسی آثار بارهای افزایش‌یافته، ارتعاشات و خستگی،

ب) با استفاده از روش‌های دینامیکی مبتنی بر اثر تندباد.

عرض مؤثر برای ساختمان‌ها با رابطه (۳-۲) تعریف می‌شود:

$$w = \frac{\sum h_i w_i}{\sum h_i} \quad (2-3)$$

که در آن:

h_i : ارتفاع بالای تراز طبقه i ام

w_i : عرض مورد نظر عمود بر جهت وزش باد در تراز h_i

حداقل عرض مؤثر، عبارت است از کوچک‌ترین مقدار عرض مؤثر به دست آمده از رابطه ۳-۲. در روش دینامیکی ضریب بادگیری " C_e " و ضریب تندباد " C_g " متفاوت با ضرایب روش استاتیکی (به شرحی که متعاقباً خواهد آمد) است، ولی ضریب فشار برابر با ضرایب حاصل از روش استاتیکی در نظر گرفته می‌شود. ضرایب فوق را باید از مراجع معتبر بین‌المللی برای روش دینامیکی استخراج نمود.

۳-۲-۳-۱۱-۳-۳- محدودیت‌های روش‌های تحلیلی

روابط این بخش شامل بارگذاری باد در جهت عمود بر وزش باد، ریزش گرد بادی یا ناپایداری ناشی از نوسانات بیضوی یا شلاقی نمی‌شود. برای بررسی این آثار، طراح باید به مدارک فنی معتبر مربوط به این آثار مراجعه و یا از روش آزمایش نمونه در تونل باد بهره‌گیری نماید.

۳-۲-۳-۱۱-۴-۳- روش تجربی

ضرایب فشار و نیروی باد برای برخی از سازه‌ها و اجزای سازه‌ای در این آیین‌نامه ارائه شده است که بر پایه نتایج آزمایش در تونل باد تعیین گردیده‌اند. سازه‌ها و اجزای سازه‌ای دیگر به غیر از آنچه در اشکال ۳-۸ الی ۳-۲۵ ارائه شده‌اند، باید به روش تجربی تحلیل شوند.

در مواردی که نیاز به آزمایش در تونل‌های باد باشد، در شبیه‌سازی جریان باد در تونل باید دقت متزایدی به کار برد و جریان باد را به نحو واقع‌گرایانه‌ای شبیه‌سازی نمود. برای این منظور، سرعت، شدت و مقیاس اغتشاش باید شبیه‌سازی شوند. برای به دست آوردن نیروها و فشارهای استاتیکی از مدل‌های صلب سازه و برای اندازه‌گیری شتاب و پارامترهای رفتاری کل سازه از مدل‌های آیرولاستیک استفاده می‌شود.

روش تجربی یا روش تونل باد بالاخص برای سازه‌ها و ساختمان‌هایی که تحت آثار هواپندگی یا کانالی ناشی از موانع یا سازه‌های بالادست قرار می‌گیرند و همچنین سازه‌هایی که ناپایداری آیرولاستیکی و آیرودینامیکی دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۲-۳-۱۱-۴-۳- مقادیر بارهای ناشی از باد

فشارهای طراحی تعیین شده در این قسمت باید در بارگذاری باد وارده بر سازه‌های فضاکار با پوشانه‌های نفوذپذیر مورد استفاده قرار گیرند، مگر آنکه بر اساس اطلاعات آزمایشگاهی مورد تأیید یا مدارک فنی معتبر مقادیر کوچک‌تری را برای بارهای وارده بر پوشانه‌های نفوذپذیر، با توجه به ویژگی‌های پوشانه و خصوصیات هندسی، نشان دهند.

۳-۲-۳-۱۱-۴-۱- ارتفاع مرجع

برای ساختمان‌های تحت تأثیر فشار بیرونی، ارتفاع مرجع " h " برای تعیین ضریب بادگیری C_e به صورت زیر تعریف می‌شود.

الف) برای ساختمان‌های کوتاه (دارای ارتفاع کوچک‌تر از ۲۰ متر):
برابر با ارتفاع میانگین سقف یا ۶ متر هرکدام بزرگ‌تر باشند. در صورتی که شیب سقف کوچک‌تر از ۷ درجه باشد، ارتفاع لبه را می‌توان جایگزین ارتفاع میانگین نمود.

ب) برای ساختمان‌های بلند:

(i) h برای وجه روبه باد: برابر با ارتفاع واقعی نقطه مورد نظر از تراز زمین،

(ii) h برای وجه پشت به باد: برابر با نصف ارتفاع ساختمان،

(iii) h برای سقف و دیوارهای جانبی: برابر با ارتفاع ساختمان.

پ) برای فشارهای درونی، h برابر نصف ارتفاع ساختمان در نظر گرفته می‌شود، مگر هنگامی که دارای یک بازشو بزرگ باشد، که در آن حالت باید h را ارتفاع بازشو از تراز زمین اختیار نمود.

۲-۳-۱۱-۲-۴-۲- تعیین فشار باد

فشار یا مکش ناشی از باد بر یک جزء یا تمام سطح یک سازه یا ساختمان از رابطه (۳-۳) محاسبه می‌گردد.

$$P = I_w q C_e C_g C_p \quad (3-3)$$

در رابطه بالا

P : فشار بیرونی که به صورت استاتیکی و عمود بر سطح وارد می‌شود که می‌تواند به صورت فشار وارده بر سطح یا مکش در جهت خارج از سطح باشد.

I_w : ضریب اهمیت ساختمان،

q : فشار متناظر با سرعت مینا،

C_e : ضریب بادگیری،

C_g : ضریب تندباد،

C_p : ضریب فشار بیرونی میانگین‌گیری شده در سطح مورد نظر.

فشار خالص باد وارد بر کل ساختمان یا سازه از جمع جبری فشار بر سطوح رو به باد و پشت به باد و یا در بعضی موارد از جمع فشار و مکش سطوح حاصل می‌شود.

۲-۳-۱۱-۲-۴-۳- فشار خالص ناشی از باد

۲-۴-۳-۷- فشار خالص ناشی از باد بر یک جزء یا تمام سطح یک ساختمان از جمع جبری فشار و مکش به دست می‌آید.

فشار یا مکش درونی ناشی از باد از (۳-۴) به دست می‌آید.

$$P_i = I_w q C_e C_{gi} C_{pi} \quad (4-3)$$

در رابطه بالا

P_i : فشار درونی که به صورت استاتیکی و عمود بر سطح وارد می‌شود که می‌تواند به صورت فشار به رویه سطح یا مکش به سمت خارج از سطح باشد.

I_w : ضریب اهمیت،

q : فشار متناظر با سرعت مینا،

C_e : ضریب بادگیری،

C_{gi} : ضریب اثر تند باد درونی،

C_{pi} : ضریب فشار درونی.

۳-۲-۱۱-۴-۴- ضریب اهمیت

به منظور محاسبه فشار ناشی از باد در روابط ۳-۳ و ۴-۳ ضریب اهمیت، I_w ، از جدول ۳-۲ به دست می‌آید.

جدول ۳-۲- مقادیر ضرایب اهمیت، I_w ، برای محاسبه کنش‌های ناشی از باد

| گروه ساختمان | ضریب اهمیت |
|--|------------|
| سازه‌های کوتاه و سازه‌های طبقه‌بندی شده در گروه عمر مفید ۱ | ۰/۸ |
| سازه‌های با ارتفاع متوسط و سازه‌های طبقه‌بندی شده در گروه عمر مفید ۲ | ۱ |
| سازه‌های بلند و سازه‌های طبقه‌بندی شده در گروه عمر مفید ۳ | ۱/۱۵ |
| سازه‌های با اهمیت ویژه از جمله سازه‌های مورد بهره‌برداری در مدیریت بحران پس از وقوع سوانح طبیعی و سازه‌های طبقه‌بندی شده در گروه عمر مفید ۴. | ۱/۲۵ |

۳-۲-۱۱-۵-۴- فشار متناظر با سرعت مینا q :

فشار متناظر با سرعت مینا برابر است با فشار متناظر با سرعت میانگین در منطقه باز در ارتفاع ۱۰ متری که با احتمال وقوع بیش از یک بار در دوره بازگشت ۵۰ ساله تعیین می‌شود. سرعت باد در بازه زمانی ده دقیقه‌ای میانگین‌گیری می‌شود. فشار متناظر سرعت مینا از رابطه $q = \rho V^2$ محاسبه می‌شود. فشار متناظر با دوره بازگشت، N ، متناوب با ۵۰ ساله از رابطه (۵-۳) محاسبه می‌گردد.

$$q(N) = q(10) + [q(100) + q(10)][\ln N / \ln 10] - 1 \quad (5-3)$$

در رابطه بالا N دوره بازگشت بر حسب سال می‌باشد. در برخی ساختگاه‌ها فشار متناظر با سرعت مینا در اثر ویژگی‌های توپوگرافی، ناهمواری‌های زمین و شرایط اقلیمی و هوای منطقه با جهت به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌نماید.

تفسیر- در صورتی که به دلیل اهمیت ویژه ساختمان، در مورد ضرورت انجام مطالعات طراحی بر اساس روش‌های مبتنی بر عملکرد اتخاذ تصمیم گردیده‌باشد، لازم است فشار متناظر با سرعت مینا برای دو دوره بازگشت متناسب با عمر مفید و ترازهای عملکردی در سطوح بهره‌برداری و ایمنی تعیین گردد. توصیه می‌شود در مورد ساختمان‌های طبقه‌بندی شده در گروه‌های عمر مفید در زمینه انجام مطالعات در چارچوب طراحی مبتنی بر عملکرد (که مستلزم اختیار دو سطح بارکناری و ترازهای عملکردی مربوط می‌شود یا طراحی تک سطحی اختیار فشار متناظر با سرعت مینا بر اساس یک دوره بازگشت ۵۰ ساله) مطالعه و اتخاذ تصمیم گردد.

۳-۲-۱۱-۴-۶- ضریب بادگیری، C_e

ضریب بادگیری C_e ، نمایانگر تغییرات سرعت باد با ارتفاع و همچنین آثار تغییر ویژگی‌های زمین اطراف و توپوگرافی محل می‌باشد. ضریب بادگیری برای روش استاتیکی به شرح زیر به دست می‌آید:

الف) $0.9 \geq (h/10)^{0.2}$ ، برای نواحی باز که ساختمان‌ها، درخت‌ها و یا موانع به صورت پراکنده در آن قرار دارند. (h) ارتفاع مرجع بر حسب متر برای تمام یا قسمتی از سطح می‌باشد.

ب) $0.7 \geq (h/10)^{0.3}$ ، برای نواحی ناهموار مانند مناطق شهرها، حومه شهری یا مناطق جنگلی در حالتی که این ناهمواری حداقل یک کیلومتر یا ده برابر ارتفاع ساختمان (هرکدام بزرگ‌تر باشد) در بالا دست سازه ادامه یابد.

پ) زمانی که منطقه ناهموار کوچک‌تر از یک کیلومتر امتداد ($X_r < 1\text{Km}$)، و سازه کمتر از ۱۰۰ متر ارتفاع داشته باشد، ضریب بادگیری C_e را می‌توان بین مقادیر بند الف و ب طبق رابطه (۳-۶-الف) از طریق درون‌یابی تعیین نمود.

$$C_e = C_{er} (0.816 + 0.184 \log_{10} \left(\frac{10}{X_r - 0.05} \right)) \leq C_{eo} \quad (۳-۶-الف)$$

و برای X_r مساوی یا کمتر از ۰/۰۵ کیلومتر

$$C_e = C_{eo} \quad (۳-۶-ب)$$

در رابطه‌های (۳-۶-الف و ب)، X_r طول ناهمواری بالادست سازه، " C_{er} " ضریب C_e برای منطقه ناهموار و " C_{eo} " ضریب C_e برای منطقه باز می‌باشد.

ت) سازه‌ها یا ساختمان‌هایی که بر تپه‌ها استقرار دارند، تحت تأثیر آثار افزایش یافته باد قرار می‌گیرند که به طور معمول فشاری افزون‌تر از فشار متناظر با سرعت باد مرجع را اعمال می‌نمایند، در این صورت باید ضریب بادگیری را از آیین‌نامه‌ها و استانداردهای معتبر بین‌المللی به دست آورد.

ث) اگر رفتار دینامیکی باد موردنظر باشد، مقدار C_e تابعی از ارتفاع و نحوه اثر پوششی سازه‌ها و موانع مجاور بر سازه مورد نظر خواهد بود.

۳-۲-۱۱-۴-۷- ضریب اثر تندباد، C_g

C_g ضریب اثر تندباد به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

الف) برای کل ساختمان و اعضای اصلی سازه: $C_g = 2$ ،

ب) برای فشار و مکش بیرونی وارد بر اجزای کوچک نما: $C_g = 2.5$

پ) برای فشارهای درونی می‌توان مقدار $C_{gi} = 2$ فرض نمود ولی ترجیح دارد با در نظر گرفتن ابعاد بازشوها، حجم درونی و انعطاف‌پذیری ساختمان مقدار C_{gi} را از روش‌های موجود محاسبه نمود.

ت) اگر رفتار دینامیکی مورد نظر باشد، مقدار C_g به اغتشاش باد، ابعاد ساختمان و بسامد طبیعی آن بستگی خواهد داشت.

۳-۲-۱۱-۵- بارگذاری باد بر سازه‌ها

الف) اگر شیشه و یا پنجره‌ای در توفان شکسته شود، فشار قابل توجهی به داخل نفوذ کرده و باعث تشدید اختلاف فشار (درونی و بیرونی) می‌گردد. از آنجا که این تغییر فشار در موارد متعددی باعث فروریختگی نشده‌است، اختلاف فشار بدون ضربی برابر حداقل 0.25 kPa پیشنهاد شده است و زمانی که بازو بزرگ بوده و فشار ناشی از شکست می‌تواند به تیغه‌بندی‌ها و جداکننده‌های داخلی انتقال یابد، مقدار 0.5 kPa یا بیشتر توصیه می‌گردد.

ب) در مورد پوشانه‌های پاشامی (غشایی) با عایق حرارتی، در حالتی که عایق به غشای آب‌بندی نچسبیده باشد، عایق تحت همان فشاری قرار نخواهد داشت که به تمام مجموعه سقف وارد می‌شود. علت این امر نشت هوا و برقراری تعادل موضعی فشار رویین و زیرین عایق می‌باشد.

۳-۲-۱۱-۵-۱- اجزای سازه‌ای، قاب‌ها و سازه‌های گرد

در اشکال ۳-۸ الی ۳-۲۵ از طریق فرمول‌های ارائه شده نیروی‌های ناشی از باد محاسبه می‌گردد.

ضریب بادگیری و ضرایب تندباد را برای این سازه‌ها می‌توان از مقادیر ارائه شده در بند ۳-۲-۴-۹ و ۳-۲-۴-۱۰ به دست آورد.

(۱) بار باد بر اجزای سازه‌های خود ایستا، قاب‌ها و خرپاها را می‌توان با استفاده از روابط و اشکال مذکور در فوق به دست آورد. اندیس ∞ در اشکال مربوطه نشانگر آن است که این ضرایب برای اعضای سازه‌ای که طول بی‌نهایت دارند، صادق‌اند. اگر عضو سازه‌ای به صورت طره‌ای نسبت باشد، لاغری باید معادل دو برابر طول واقعی در نظر گرفته شود. اگر عضوی از هر دو طرف به دیوار و یا صفحه بزرگی متصل شده باشد، ضریب کاهندگی طول مؤثر مورد استفاده قرار داده می‌شود.

(۲) برای اعضای قابی شکل که به طور متوالی و در جهت باد قرار می‌گیرند، اثر پوششی را می‌توان در نظر گرفت. اعضای پشت به باد برای فشار کاهش یافته q_x مطابق شکل ۳-۲۳ طراحی می‌شوند.

(۳) با توجه به آنکه خواص سازه در هنگام نصب تغییر می‌نماید، بار باد ممکن است در بازه زمانی موقت در حالتی بحرانی‌تر از حالت سازه تکمیل شده، بر سازه نیمه‌تمام اعمال گردد. این افزایش بار باید با ضرایب مناسب مطابق شکل ۳-۲۰ الی ۳-۲۴ در نظر گرفته شود.

تفسیر- این امر در مورد سازه‌های فضاکار متشکل از تعداد قابل ملاحظه‌ای از اعضا و پیوندها می‌تواند حایز اهمیت ویژه باشد.

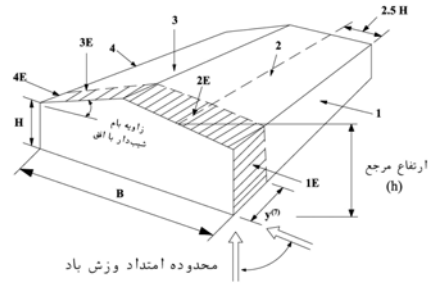
(۴) برای سازه‌های با اعضای لوله‌ای با مقاطع دایره‌ای شکل با $D > 0.167 \sqrt{q_{ce}}$ و نسبت توپری $A_s/A > 0.30$ ضرایب پوششی تقریبی مطابق شکل ۳-۲۰ را می‌توان به کار برد. اگر $D \geq 0.167 \sqrt{q_{ce}}$ ، برای نسبت توپری $A_s/A > 0.30$.

(۵) برای سازه‌های گرد (برخلاف سازه‌های تیز گوشه) فشارهای متعامد بر جهت باد با سرعت باد تغییر می‌نمایند و به شدت حساس به عدد رینولدز می‌باشند. ضرایب فشار برای برخی سازه‌های گرد در اشکال ۳-۱۶، ۳-۱۷، ۳-۲۰ و ۳-۲۴ ارائه گردیده‌است. در این رابطه قطر گنبد یا چلیک بر حسب متر و q_{ce} فشار متناظر با سرعت بر حسب KP_a می‌باشد. برای تبدیل این رابطه فرمول متعارف رینولدز را باید در $10^6 \times 2/70$ ضرب نمود.

(۶) میزان زبری سازه‌های گرد حایز اهمیت می‌باشد. با توجه به شکل ۳-۱۶ مصالح فولادی، بتنی یا چوبی تقریباً صاف فرض می‌شوند. سطوح دارای برجستگی‌های دندان‌های که بیش از ۲٪ از بعد قطر حداقل بیرون زده باشند، خیلی زبر فرض می‌شوند.

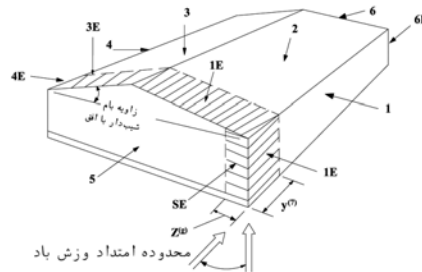
در شرایطی که در مورد میزان زبری نتوان تشخیص قطعی داد، ضرایبی را باید اختیار نمود که نیروهای افزون‌تری از آنها حاصل گردد. برای سازه‌های چلیکی یا گنبدی با سخت‌کننده‌های محیطی و شعاعی و نیز تکیه‌گاه‌ها و اعضای سازه‌ای ویژه، ضرایب فشار بستگی به نوع، محل و بزرگی ناهمواری‌های سطحی داشته و این گونه سازه‌ها یا اجزای سازه‌ای باید در تونل باد مورد آزمایش قرار گیرند.

حالت بار (الف): امتداد وزش باد در حیطة عمدتاً متعامد بر خط الرأس



| سطوح ساختمان | | | | | | | | شیب سقف |
|--------------|-------|------|------|------|------|------|------|------------|
| ۴E | ۴ | ۳E | ۳ | ۲E | ۲ | ۱E | ۱ | |
| -۰/۸ | -۰/۵۵ | -۱/۰ | -۰/۷ | -۲/۰ | -۱/۳ | ۱/۱۵ | ۰/۷۵ | ۰° تا ۵° |
| -۱/۲ | -۰/۸ | -۱/۳ | -۰/۹ | -۲/۰ | -۱/۳ | ۱/۵ | ۱/۰ | ۲۰° |
| -۰/۹ | -۰/۷ | -۱/۰ | -۰/۸ | ۰/۵ | ۰/۴ | ۱/۳ | ۱/۰۵ | ۳۰° تا ۴۵° |
| -۰/۹ | -۰/۷ | -۰/۹ | -۰/۷ | ۱/۳ | ۰/۱۵ | ۱/۳ | ۱/۰۵ | ۹۰° |

حالت بار (ب): امتداد وزش باد در حیطة عمدتاً موازی با خط الرأس



شکل ۳-۸- حداکثر ضریب خارجی ($C_g C_p$) برای ساختمان اصلی زمانی که نیروی باد به صورت متقارن در تمام سطوح وارد شود.

| سطوح ساختمان | | | | | | | | | | | شیب سقف | |
|--------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|---------|-----------|
| ۶E | ۶ | ۵E | ۵ | ۴E | ۴ | ۳E | ۳ | ۲E | ۲ | ۱E | | ۱ |
| -۰/۸ | -۰/۵۵ | ۱/۱۵ | ۰/۷۵ | -۰/۹ | -۰/۸۵ | -۱/۰ | -۰/۷ | -۲/۰ | -۱/۳ | -۰/۹ | -۰/۸۵ | ۰° تا ۹۰° |

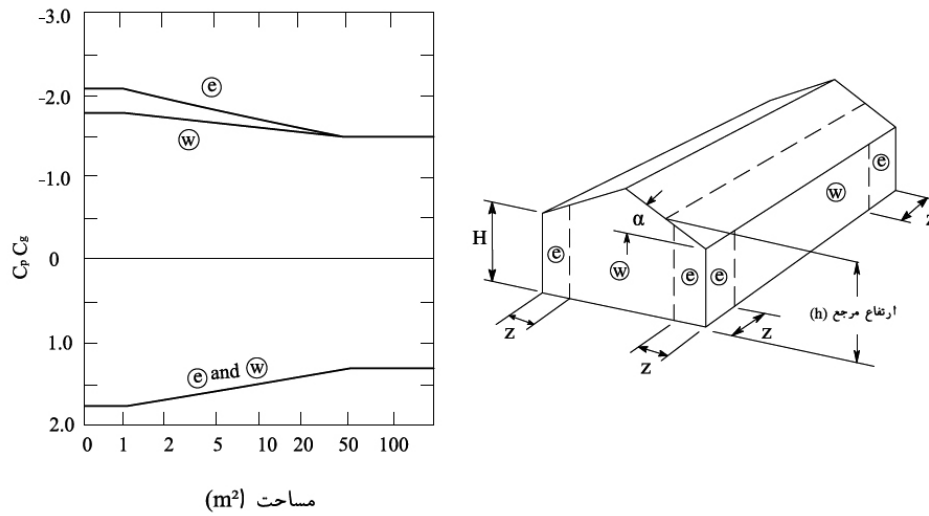
توضیحات شکل ۳-۸:

سازه باید تحت تأثیر اعمال بار باد در تمام امتدادها و جهت‌های نشان داده شده طراحی شود. بار باد مطابق شکل باید بر هر گوشه ساختمان اعمال گردد. برای هر شیب سقف باید، دو حالت بارگذاری الف و ب با ملحوظداشتن اثر پیچش در نظر گرفته شود.

- برای مقادیر شیب سقف نشان داده نشده، حاصل ضرب $C_p C_g$ از میان‌یابی خطی به دست می‌آید.
- ضرایب دارای علامت مثبت بیانگر آن است که جهت نیرو به سمت سطح (حالت فشاری) و ضرایب دارای علامت منفی بیانگر جهت نیرو به سمت خارج سطح (مکش) می‌باشند.
- برای طراحی شالوده فقط ۷۰٪ بار مؤثر لحاظ می‌شود؛ مگر آن که شالوده به قاب مهار شده باشد.
- ارتفاع مبنا (h) برای تعیین نیروی فشاری بزرگ‌ترین دو مقدار $h=6m$ یا ارتفاع میانی سقف در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که شیب سقف کمتر از ۷ درجه باشد، می‌توان ارتفاع لبه بام (H) را جایگزین ارتفاع میانی سقف نمود.
- عرض ناحیه انتهایی (Y) بزرگ‌ترین دو مقدار $2Z$ و $6m$ در نظر گرفته می‌شود. (Z ناحیه دیوار واقع در کنج در حالت بار ب می‌باشد) برای ساختمان‌های قاب‌بندی شده y فاصله بین اولین و آخرین قاب داخلی در نظر گرفته می‌شود.
- بعد ناحیه انتهایی (Z) برابر کمترین دو مقدار ۱۰٪ کوچک‌ترین بعد و یا ۴۰٪ ارتفاع (H) در نظر گرفته می‌شود که نباید از ۴٪ کوچک‌ترین بعد افقی یا 1m کوچک‌تر اختیار شود.
- برای $B/H > 5$ در حالت بار الف، ضرایب دارای علامت منفی در سطوح 2 و 2E فقط باید در سطحی به پهنای $2/50H$ از لبه بام اعمال شوند. فشار در بقیه قسمت‌های رو به باد سقف را می‌توان به اندازه ضرایب سطح پشت به باد کاهش داد.

ادامه - شکل ۳-۸ - حداکثر ضریب خارجی ($C_g C_p$) برای ساختمان اصلی زمانی که نیروی باد

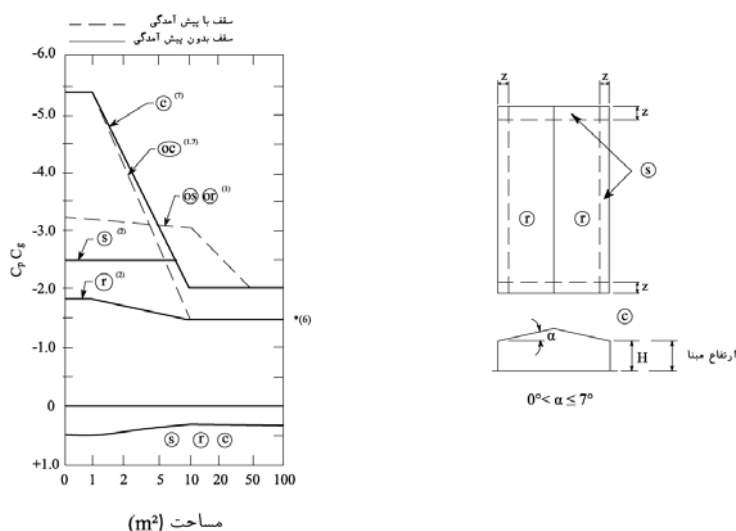
به صورت متقارن در تمام سطوح وارد شود.



شکل ۳-۹- حداکثر ضریب خارجی $C_p C_g$ در دیوارهای تک برای طراحی اجزای نمای ساختمان‌ها

توضیحات شکل ۳-۹:

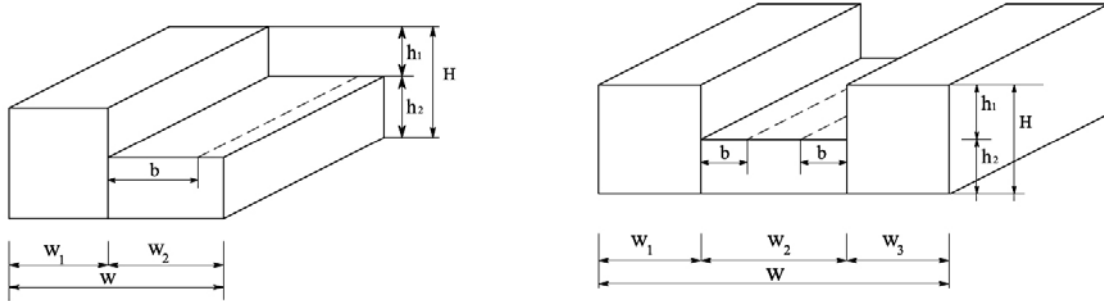
- این ضرایب برای هر شیب سقف به کار برده می‌شوند.
- مقیاس افقی مشخص‌کننده مساحت سطح مؤثر باد بر حسب m^2 می‌باشد.
- ناحیه انتهایی (Z) برابر کمترین دو مقدار ۱۰٪ کوچک‌ترین بعد و یا ۴۰٪ ارتفاع (H) می‌باشد که نباید از ۴٪ کوچک‌ترین بعد افقی یا ۱m کوچک‌تر باشد.
- حالات متفاوت ترکیب فشارهای داخلی و خارجی باید برای حصول به نامطلوب‌ترین حالت بارگذاری مورد بررسی قرارداد شوند.
- علایم مثبت نشان‌دهنده فشار مؤثر به سمت سطح و علایم منفی نمایشگر مکش مؤثر به سمت خارج از سطح می‌باشند و هر عضو سازه‌ای باید برای تحمل هر دو حالت فشار و مکش طراحی شود.
- ضرایب فشار اغلب برای نمای معماری مورد استفاده قرار داده می‌شوند و هرگاه ارتفاع پشت بندهای نما از یک متر بیشتر باشد، برای ناحیه‌های مشخص شده با مقدار $e = -2/80$ $C_p C_g$ می‌باشد.



شکل ۳-۱- حد اکثر ضریب خارجی C_p, C_g در سقف‌های با شیب کمتر از ۷ درجه برای طراحی اجزای سازه‌ای و نما

توضیحات شکل ۳-۱۰:

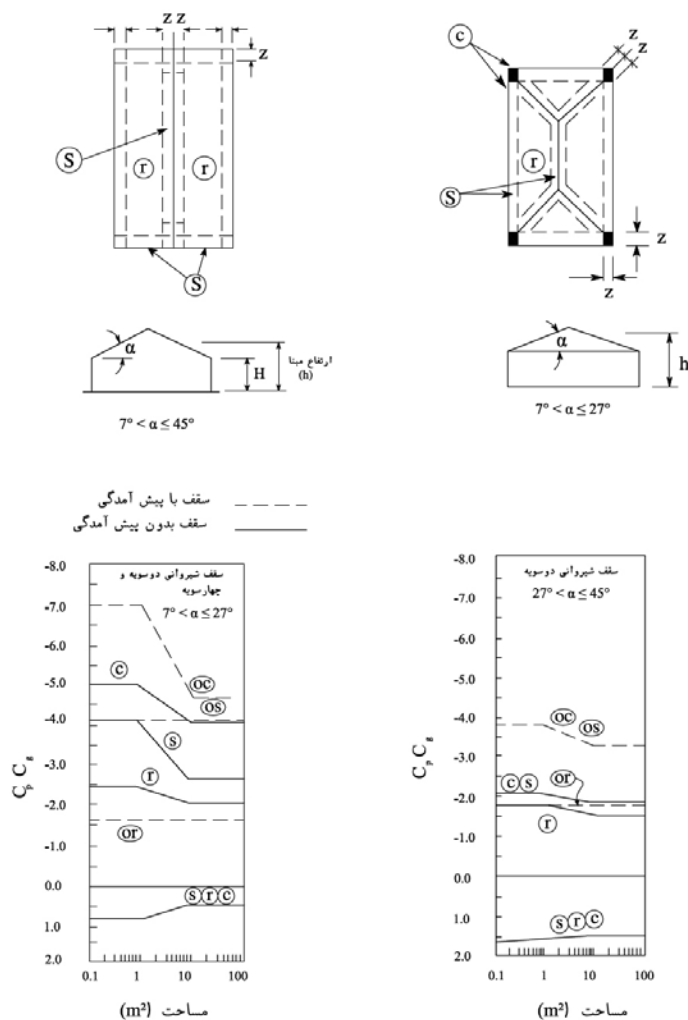
- ضرایب S و T برای سقف‌ها و سطوح بالای سایبان‌ها مورد استفاده قرار داده می‌شوند.
- مقیاس افقی مشخص‌کننده، مساحت سطح مؤثر باد بر حسب m^2 می‌باشد.
- ناحیه انتهایی (Z) برابر کوچک‌ترین دو مقدار ۱۰٪ کوچک‌ترین بعد و یا ۴۰٪ ارتفاع (H) می‌باشد که نباید از ۴٪ کوچک‌ترین بعد افقی یا 1m کوچک‌تر اختیار شود.
- برای طراحی شالوده فقط ۷۰٪ بار مؤثر لحاظ می‌شود؛ مگر آنکه شالوده به قاب مهار شده باشد.
- ارتفاع مینا (h) برای فشار بزرگ‌ترین دو مقدار $h=6m$ یا ارتفاع میانی سقف در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که شیب سقف کمتر از ۷ درجه باشد می‌توان ارتفاع لبه بام (H) را جایگزین ارتفاع میانی سقف نمود.
- برای محاسبه نیروی برکنش در سطوح بزرگ‌تر از ۱۰۰ مترمربع در سقف‌های تقریباً تخت غیرمسدود و با جان پناه کوتاه و در مواضعی که مرکز سطح مورد نظر در فاصله حداقل دو برابر ارتفاع ساختمان از نزدیکترین لبه قرار دارد، مقدار C_g, C_p در $x/H=2$ به $-1/0.1$ کاهش می‌یابد و برای $x/H=5$ ، برابر، -0.6 در نظر گرفته می‌شود (x فاصله محل تا نزدیک‌ترین لبه و H ارتفاع ساختمان است).
- برای سقف‌هایی که دارای پیش‌آمدگی پیرامونی به بُعد یک متر یا بیشتر هستند، ضریب C_g, C_p گوشه برای سطوح کوچک‌تر باید به جای $-5/40$ به مقدار $-4/40$ تغییر یابد.



شکل ۳-۱۱- حداکثر ضریب خارجی ($C_p C_g$) در سقف‌های پله‌ای برای طراحی اجزای سازه‌ای و نما

توضیحات شکل ۳-۱۱:

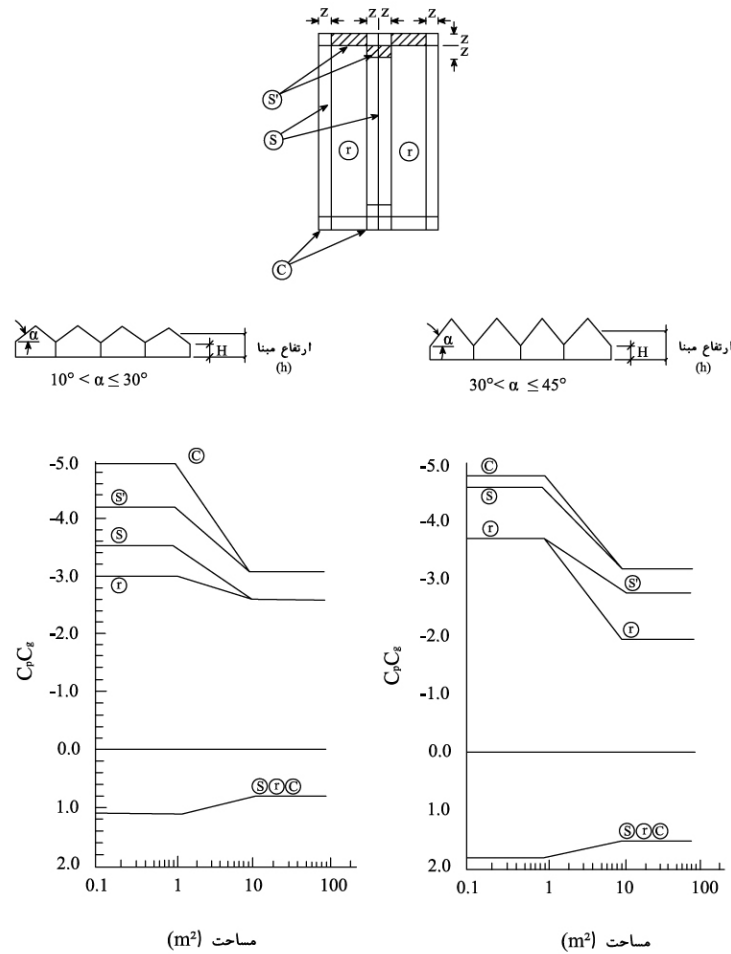
- ضرایب خارجی $C_p C_g$ و توضیحات ارائه شده در شکل ۳-۱۰ برای تمامی سطوح پایین و بالای سقف‌های پله‌ای مسطح نیز مورد استفاده قرار داده می‌شود؛ به جز آنکه در ضرایب فشار خارجی مثبت برای سطوح پایینی از مقادیر ارائه شده در شکل ۳-۹ برای دیوارها با فاصله b استفاده می‌شود. b برابر کمترین دو مقدار $1/5 h_1$ و $3.0m$ می‌باشد، برای دیوارهای نشان داده شده در تاشه‌های شکل ۳-۱۱ ضرایب فشار خارجی دیوارها به صورت ارائه شده در شکل ۳-۹ به کار برده می‌شود.
- ضرایب $C_p C_g$ به شرح فوق فقط هنگامی که شرایط زیر ارضا گردند، به کار برده می‌شوند: $h_1 > 0.3H$ ، $h_1 \geq 3m$ و w_1 ، w_2 یا w_3 بزرگ‌تر از $0.25W$ و یا کوچک‌تر از $0.75W$.



شکل ۳-۱۲- ضرایب فشار خارجی $C_p C_g$ برای سقف‌های تک‌شیب و شیروانی با شیب 7° و یا بیشتر برای طراحی اجزای و نمای ساختمان

توضیحات شکل ۳-۱۲:

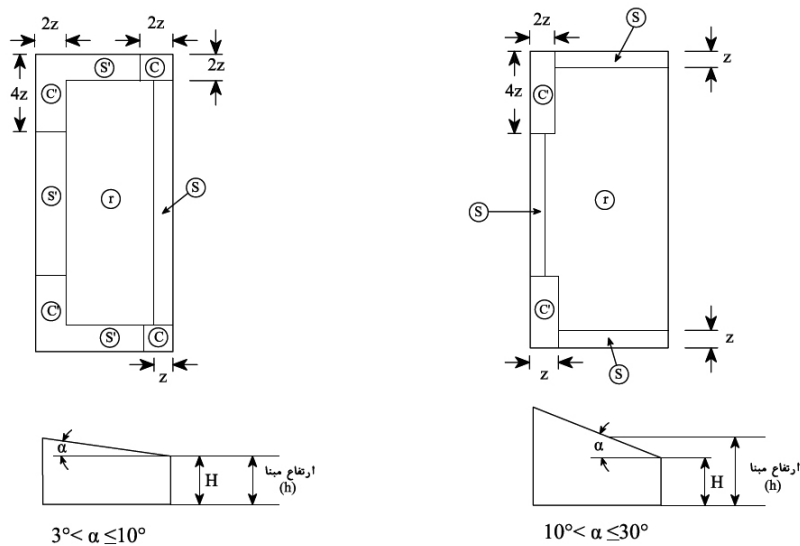
- ضرایب سقف‌های با پیش‌آمدگی با پیشوند (O) مشخص گردیده‌اند و مرتبط با مساحت سطح بام برابر با حالت متناظر بدون پیشوند می‌باشند. این ضرایب شامل آثار مرتبط با هر دو سطح بالایی و پایینی می‌باشند.
- محور افقی نمایشگر مساحت سطح مؤثر باد در ناحیه مشخص شده بر حسب m^2 می‌باشد.
- بعد ناحیه انتهایی (Z) برابر کمترین دو مقدار ۱۰٪ کوچک‌ترین بعد و یا ۴۰٪ ارتفاع (H) در نظر گرفته می‌شود که نباید از ۴٪ کوچک‌ترین بعد افقی یا ۱m کوچک‌تر اختیار شود.
- برای طراحی شالوده فقط ۷۰٪ بار مؤثر ملحوظ می‌شود؛ مگر آنکه شالوده به قاب مهار شده باشد.
- ارتفاع مبنا (h) برای فشار بزرگ‌ترین دو مقدار $h = 6m$ یا ارتفاع میانی سقف در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که شیب سقف کوچک‌تر از ۷ درجه باشد، می‌توان ارتفاع لبه بام (H) را جایگزین ارتفاع میانی سقف نمود.
- برای بام‌های با شیب $27^\circ < \alpha < 7^\circ$ ، ناحیه‌های نواری مجاور لبه‌ها و خط الرأس‌ها و ضرایب فشار خط الرأس‌های بام‌های شیب‌دار شیروانی مانند باید برای هر یک از خط الرأس‌ها در نظر گرفته شود.



شکل ۳-۱۳ - ضرایب فشار خارجی $C_p C_g$ در سقف‌های شیروانی چند دهانه با شیب بزرگ‌تر از 10°

توضیحات شکل ۳-۱۳:

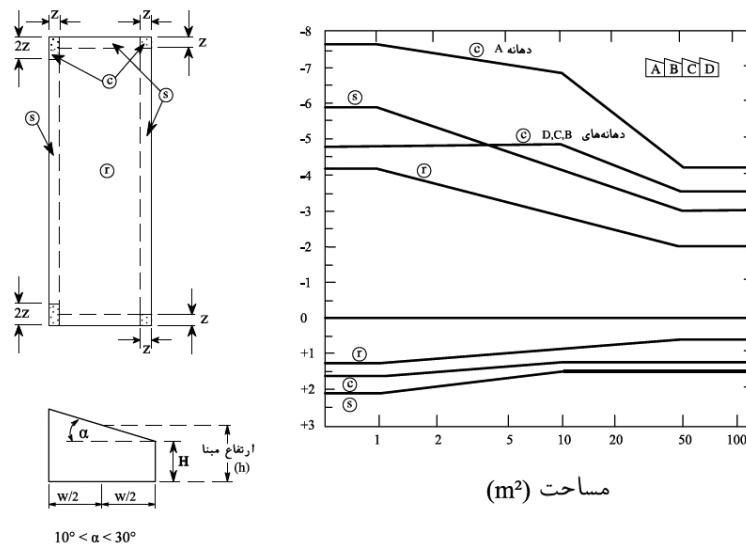
- محور افقی نمایشگر مساحت سطح مؤثر باد در ناحیه مشخص شده بر حسب m^2 می‌باشد.
- بعد ناحیه انتهایی (Z) برابر کمترین دو مقدار 10% کوچک‌ترین بعد و یا 40% ارتفاع (H) در نظر گرفته می‌شود که نباید از 4% کوچک‌ترین بعد افقی یا $1m$ کمتر باشد.
- برای طراحی شالوده فقط 70% بار مؤثر ملحوظ می‌شود، مگر آنکه شالوده به قاب مهار شده باشد.
- ارتفاع مبنای (h) برای فشار بزرگترین دو مقدار $h=6m$ یا ارتفاع میانی سقف در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که شیب سقف کوچک‌تر از 7° درجه باشد، می‌توان ارتفاع لبه بام (H) را جایگزین ارتفاع میانی سقف نمود.
- برای $10^\circ \leq \alpha$ ضرایب فشار خارجی از شکل (۳-۱۰) استخراج می‌گردند.



شکل ۳-۱۴- ضرایب فشار خارجی $C_p C_g$ برای سقف‌های تک شیب

توضیحات شکل ۳-۱۴:

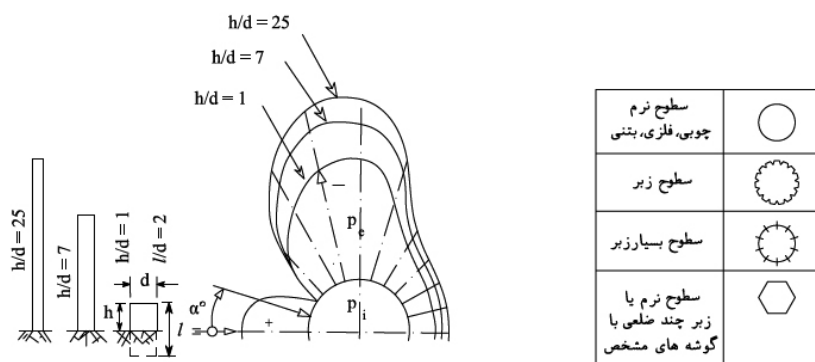
- محور افقی نمایشگر مساحت سطح مؤثر باد در ناحیه مشخص شده بر حسب m^2 می‌باشد.
- بعد ناحیه انتهایی (Z) برابر کمترین دو مقدار ۱۰٪ کوچک‌ترین بعد و یا ۴۰٪ ارتفاع (H) در نظر گرفته می‌شود که نباید از ۴٪ کوچک‌ترین بعد افقی یا ۱m کمتر باشد.
- برای طراحی شالوده فقط ۷۰٪ بار مؤثر ملحوظ می‌شود، مگر آنکه شالوده به قاب مهار شده باشد.
- ارتفاع مبنای (h) برای فشار بزرگ‌ترین دو مقدار $h=6m$ یا ارتفاع میانی سقف در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که شیب سقف کوچک‌تر از ۷ درجه باشد، می‌توان ارتفاع لبه بام (H) را جایگزین ارتفاع میانی سقف نمود.
- برای $\alpha < 3^\circ$ ضرایب فشار خارجی از شکل (۳-۱۰) استخراج می‌گردند.



شکل ۳-۱۵- ضرایب فشار خارجی C_p, C_{pg} برای سقف‌های دندانه‌ای با شیب 10° و بیشتر

توضیحات شکل ۳-۱۵:

- محور افقی نمایشگر مساحت سطح مؤثر باد در ناحیه مشخص شده بر حسب m^2 می‌باشد.
- بعد ناحیه انتهایی (Z) برابر کمترین دو مقدار 10% کوچک‌ترین بعد و یا 40% ارتفاع (H) در نظر گرفته می‌شود که نباید از 4% کوچک‌ترین بعد افقی یا $1m$ کمتر باشد.
- برای طراحی شالوده فقط 70% بار مؤثر ملحوظ می‌شود، مگر آنکه شالوده به قاب مهار شده باشد.
- ارتفاع مینای (h) برای فشار بزرگ‌ترین دو مقدار $h=6m$ یا ارتفاع میانی سقف در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که شیب سقف کوچک‌تر از 7° باشد، می‌توان ارتفاع لبه بام (H) را جایگزین ارتفاع میانی سقف نمود.
- ضرایب منفی در ناحیه‌های گوشه‌ای دهانه A مقادیر متفاوتی با دهانه‌های B, C, D خواهند داشت.
- برای $\alpha \leq 10^\circ$ مقادیر ضرایب فشار خارجی (۳-۱۰) به دست می‌آید.



ضریب فشار خارجی برای $d\sqrt{qC_e} > 0.167$ و سطوح نسبتاً نرم

$F = C_f q C_g C_e A$ و $A = dh$ نیروی کل

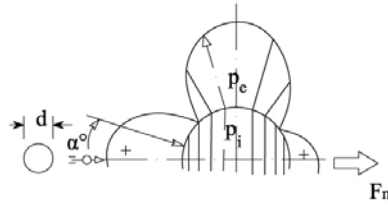
مقادیر ضرایب نیرو، C_f برای $d\sqrt{qC_e} > 0.167$

| ۲۵ | ۷ | ۱ | لاغری h/d |
|-------|-------|-------|------------------------------------|
| C_f | C_f | C_f | شکل مقطع و ناهمواری |
| ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۵ | رویه تقریباً مسطح (بتن، چوب، فلز) |
| ۰/۹ | ۰/۸ | ۰/۷ | سطوح زبر (اندازه دندانه‌ها) |
| ۱/۲ | ۱/۰ | ۰/۸ | سطوح خیلی زبر (اندازه دندانه‌ها) |
| ۱/۴ | ۱/۲ | ۱/۰ | سطوح با پستی و بلندی و لبه‌های تیز |

مقادیر C_p ، ضریب فشار خارجی برای $d\sqrt{qC_e} > 0.167$ و سطوح تقریباً صاف

| ۱۸۰° | ۱۶۵° | ۱۵۰° | ۱۳۵° | ۱۲۰° | ۱۰۵° | ۹۰° | ۷۵° | ۶۰° | ۴۵° | ۳۰° | ۱۵° | ۰° | =α | 1/d | h/d |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-----|-----|
| -۰/۶ | -۰/۶ | -۰/۶ | -۰/۷ | -۰/۹ | -۱/۹ | -۲/۶ | -۲/۵ | -۱/۹ | -۰/۹ | +۰/۱ | +۰/۸ | +۱/۰ | C_p | ۵۰ | ۲۵ |
| -۰/۵ | -۰/۵ | -۰/۵ | -۰/۶ | -۰/۸ | -۱/۷ | -۲/۲ | -۱/۶ | -۱/۷ | -۰/۸ | +۰/۱ | +۰/۸ | +۱/۰ | C_p | ۱۴ | ۷ |
| -۰/۴ | -۰/۴ | -۰/۴ | -۰/۵ | -۰/۷ | -۱/۲ | -۱/۷ | -۱/۶ | -۱/۲ | -۰/۷ | +۰/۱ | +۰/۸ | +۱/۰ | C_p | ۲ | ۱ |

شکل ۳-۱۶ - سازه‌های استوانه‌ای - چلیکی



ضریب فشار خارجی برای $d\sqrt{qC_e} > 0.8$ و سطوح نسبتاً نرم

$$F = C_f q C_g C_e A$$

$$A = \pi d^2 / 4$$

$$C_f = 0.7$$

$$P = P_i - P_e$$

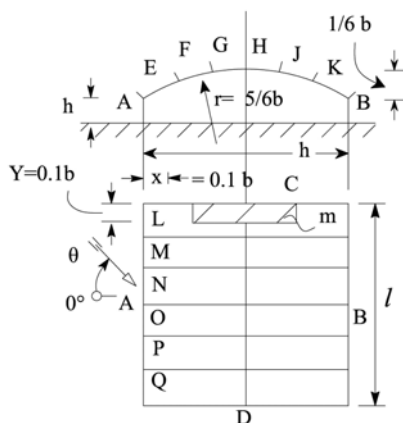
P_i = فشار داخلی برای فضاهای بسته

$$P_e = C_p q C_g C_e$$

مقادیر C_p ، ضریب فشار خارجی برای $d\sqrt{qC_e} > 0.8$ و سطوح تقریباً صاف

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| ۱۸۰° | ۱۶۵° | ۱۵۰° | ۱۳۵° | ۱۲۰° | ۱۰۵° | ۹۰° | ۷۵° | ۶۰° | ۴۵° | ۳۰° | ۱۵° | ۰° | = α |
| +۰/۴ | +۰/۳ | +۰/۱ | -۰/۲ | -۰/۶ | -۱/۰ | -۱/۲ | -۱/۱ | -۰/۷ | -۰/۱ | +۰/۵ | +۰/۹ | +۱/۰ | C_p |

شکل ۳-۱۷- سازه‌های گنبدی (کروی)



سطح باز نو مقیاس شده

$$RAD.r = (\delta/\epsilon)b$$

$$H:b:L = 1:1r:1r$$

مقادیر C_p ، ضرایب فشار داخلی

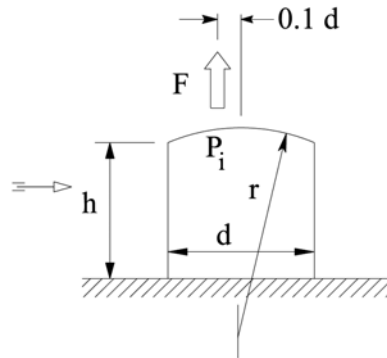
| K | J | H | G | F | E | D | C | B | A | ϕ |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| -۰/۱ | -۰/۴ | -۰/۸ | -۰/۸ | -۰/۵ | -۰/۱ | -۰/۳ | -۰/۳ | -۰/۲ | +۰/۷ | ۰° |
| -۰/۴ | -۰/۷ | -۰/۹ | -۰/۷ | -۰/۴ | -۰/۱ | -۰/۴ | +۰/۲ | -۰/۳ | +۰/۶ | ۳۰° |

| Q | P | O | N | M | L | D | C | B | A | ϕ |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|--------|
| -۰/۱ | -۰/۱ | -۰/۳ | -۰/۵ | -۰/۷ | -۰/۸ | -۰/۳ | ۰/۹ | -۰/۳ | -۰/۳ | ۹۰° |
| مقطع "m" با $C_{pI}^* = -۲/۵$ | | | | | | | | | | ۳۰° |

ضرایب فشار داخلی

| $\phi = ۹۰^\circ$ | $\phi = ۳۰^\circ$ | $\phi = ۰^\circ$ | بازشوها |
|-------------------|-------------------|------------------|------------------------------|
| $\pm ۰/۲$ | $\pm ۰/۲$ | $\pm ۰/۲$ | بار توزیع یکنواخت |
| -۱/۰ | ۰/۷ | -۰/۴ | پنجره Y در سمت A باز می شود. |
| ۰/۸ | ۰/۶ | -۰/۱ | تمام در سمت C باز می شود |
| ۰/۴ | ۰/۷ | -۱/۵ | فقط X در سمت C باز می شود |

شکل ۳-۱۸- سازه های چلبکی با سطوح نسبتاً هموار



نیروی کل $F = (P_i - P_e)A$

P_i = فشار داخلی

$P_e = C_p q C_g C_e$

$A = \frac{\pi}{4} d^2$

$C_p = 1/0$ ضریب فشار خارجی

شکل ۳-۱۹- نیروی مکش وارده بر سطح گنبدی (کروی) مستقر بر استوانه در مخازن یا سازه‌های با جدار بسته

$L/d > 100$

نیروی کل $F = C_f C_g C_e A$

$A = dL$

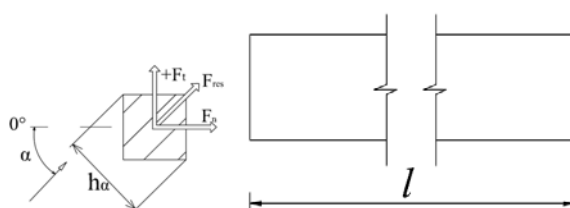
| $D \sqrt{q C_e}$ | | | |
|------------------|-----------|--|--|
| > 0.167 | < 0.167 | | |
| 0.5 | 1/2 | لوله‌ها، میله‌ها و کابل‌ها با سطوح هموار | |
| 0.7 | 1/2 | میله‌ها و کابل‌های نسبتاً هموار | |
| 0.9 | 1/2 | کابل‌های نازک | |
| 1.1 | 1/3 | کابل‌های ضخیم | |

شکل ۳-۲۰- اعضای لوله‌ای، میله‌ها، کابل‌ها

مقادیر $C_{t\infty}$ و $C_{n\infty}$ ، ضرایب نیرو برای اعضا با طول نامحدود برای مقاطع غیرلوله‌ای

| مقطع شماره ۶ | | مقطع شماره ۵ | | مقطع شماره ۴ | | مقطع شماره ۳ | | مقطع شماره ۲ | | مقطع شماره ۱ | | α |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|
| $C_{t\infty}$ | $C_{n\infty}$ | $C_{t\infty}$ | $C_{n\infty}$ | $C_{t\infty}$ | $C_{n\infty}$ | $C_{t\infty}$ | $C_{n\infty}$ | $C_{t\infty}$ | $C_{n\infty}$ | $C_{t\infty}$ | $C_{n\infty}$ | |
| ۰ | ۲/۰۵ | ۰ | ۲/۰ | ۰ | ۱/۶ | ۰/۱ | ۱/۷۵ | ۱/۸ | ۱/۸ | ۰/۹۵ | ۱/۹ | ۰° |
| ۰/۶ | ۱/۸۵ | ۰/۹ | ۱/۲ | ۰/۱ | ۱/۵ | ۰/۸۵ | ۰/۸۵ | ۱/۸ | ۲/۱ | ۰/۸ | ۱/۸ | ۴۵° |
| ۰/۶ | ۰ | ۲/۱۵ | -۱/۶ | ۰/۷ | -۰/۹۵ | ۱/۷۵ | -۰/۱ | -۱/۰ | -۱/۹ | ۱/۷ | ۲/۰ | ۹۰° |
| ۰/۴ | -۱/۶ | ۲/۴ | -۱/۱ | ۱/۰۵ | ۰/۵ | ۰/۷۵ | -۰/۷۵ | ۰/۳ | -۲/۰ | -۰/۱ | -۱/۸ | ۱۳۵° |
| ۰ | -۰/۸ | ±۲/۱ | -۱/۷ | ۰ | -۱/۵ | -۰/۱ | -۱/۷۵ | -۱/۴ | -۱/۴ | ۰/۱ | -۲/۰ | ۱۸۰° |
| مقطع شماره ۱۲ | | مقطع شماره ۱۱ | | مقطع شماره ۱۰ | | مقطع شماره ۹ | | مقطع شماره ۸ | | مقطع شماره ۷ | | α |
| $C_{t\infty}$ | $C_{n\infty}$ | $C_{t\infty}$ | $C_{n\infty}$ | $C_{t\infty}$ | $C_{n\infty}$ | $C_{t\infty}$ | $C_{n\infty}$ | $C_{t\infty}$ | $C_{n\infty}$ | $C_{t\infty}$ | $C_{n\infty}$ | |
| ۰ | ۲/۰ | ۰ | ۲/۱ | ۰ | ۲/۰ | ۰ | ۱/۶ | ۰ | ۲/۰۵ | ۰ | ۱/۴ | ۰° |
| ۱/۵۵ | ۱/۵۵ | ۰/۷ | ۱/۴ | ۰/۱ | ۱/۸ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۰/۶ | ۱/۹۵ | ۱/۶ | ۱/۲ | ۴۵° |
| ۲/۰ | ۰ | ۰/۷۵ | ۰ | ۰/۱ | ۰ | ۱/۹ | ۰ | ۰/۹ | ±۰/۵ | ۲/۲ | ۰ | ۹۰° |

| | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | | |
| مقطع شماره ۶ | مقطع شماره ۵ | مقطع شماره ۴ | مقطع شماره ۳ | مقطع شماره ۲ | مقطع شماره ۱ |
| | | | | | |
| مقطع شماره ۱۲ | مقطع شماره ۱۱ | مقطع شماره ۱۰ | مقطع شماره ۹ | مقطع شماره ۸ | مقطع شماره ۷ |



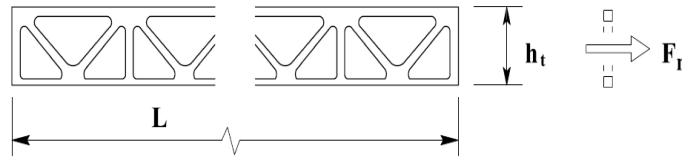
مساحت $A = hL$

طول عضو $= L$

ضریب کاهش برای اعضا با نسبت لاغری محدود $F_n = k_L C_{n\infty} q C_g C_e A$

ضریب کاهش برای اعضا با نسبت لاغری محدود

| | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| ∞ | ۱۰۰ | ۵۰ | ۳۵ | ۲۰ | ۱۰ | ۵ | L/h_α |
| ۱/۰ | ۰/۹۵ | ۰/۹۵ | ۰/۸۵ | ۰/۷۵ | ۰/۶۵ | ۰/۶۰ | K |



$C_{no} =$ ضریب نیرو برای خرپا با طول نامحدود ($0 \leq A_s/A \leq 1$)

| | | | | | | | |
|-----|------|-------------|-----|------|-----|---|----------|
| ۰/۱ | ۰/۹۵ | ۰/۸ الی ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۱۵ | ۰/۱ | ۰ | A_s/A |
| ۲ | ۱/۸ | ۱/۶ | ۱/۷ | ۱/۸ | ۱/۹ | ۲ | C_{no} |

مقادیر k ، ضریب کاهش برای خرپا با طول و نسبت لاغری محدود

| ۱ | ۰/۹۵ | ۰/۹ | ۰/۵ | ۰/۲۵ | A_s/A $t/h L$ |
|------|------|------|------|------|--------------------|
| ۰/۶۰ | ۰/۷۷ | ۰/۸۷ | ۰/۹۱ | ۰/۹۶ | ۵ |
| ۰/۷۵ | ۰/۸۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۷ | ۰/۹۸ | ۲۰ |
| ۰/۹۰ | ۰/۹۵ | ۰/۹۷ | ۰/۹۸ | ۰/۹۹ | ۵۰ |
| ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ∞ |

A_s عبارت است از مساحت سطح مقطع

$$A = h_t L$$

نسبت صلبیت A_s/A

$$A_s C_e C_g C_x k = F_n \text{ (برای وزش باد در امتداد عمود بر سطح } A \text{)}$$

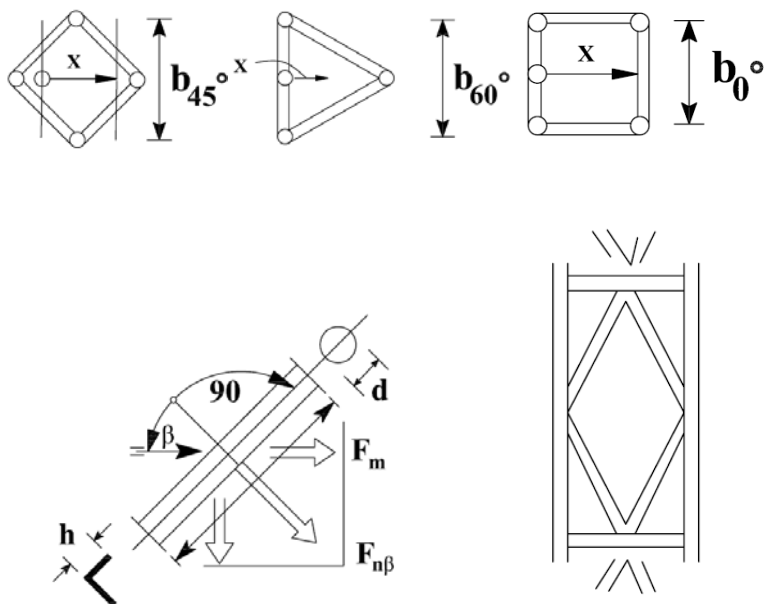
شکل ۳-۲۲

$$q_x = k_x q$$

مقادیر k_x ، ضریب پوششی عضو یا خرپا بر عضو یا خرپای بعدی واقع در مسیر وزش باد

| ۱ | ۰/۸ | ۰/۶ | ۰/۵ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۱ | A_s/A $t X/h$ یا X/h |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------------|
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۱۹ | ۰/۳۸ | ۰/۵۶ | ۰/۷۵ | ۰/۹۳ | ۰/۵ |
| ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۰/۳۲ | ۰/۴۸ | ۰/۶۵ | ۰/۸۱ | ۰/۹۹ | ۱ |
| ۰/۳۰ | ۰/۳۰ | ۰/۳۰ | ۰/۴۴ | ۰/۵۹ | ۰/۷۳ | ۰/۸۷ | ۱ | ۲ |
| ۰/۴۰ | ۰/۴۰ | ۰/۴۰ | ۰/۵۲ | ۰/۶۵ | ۰/۷۸ | ۰/۹۰ | ۱ | ۴ |
| ۰/۵۰ | ۰/۵۰ | ۰/۵۰ | ۰/۶۱ | ۰/۷۲ | ۰/۸۳ | ۰/۹۳ | ۱ | ۶ |

شکل ۳-۲۳. مقادیر ضرایب منعکس‌کننده اثر پوششی عضو یا خرپای واقع در مسیر وزش باد بر عضو یا خرپای بعدی واقع در این مسیر



نیروی کل در جهت وزش باد $F = \sum F_m$

نیروی باد وارده بر عضو $m = F_m = K C_{\alpha\beta} q C_g C_e A \cos \beta$

$A = dL$ یا hL

$L =$ طول واقعی عضو

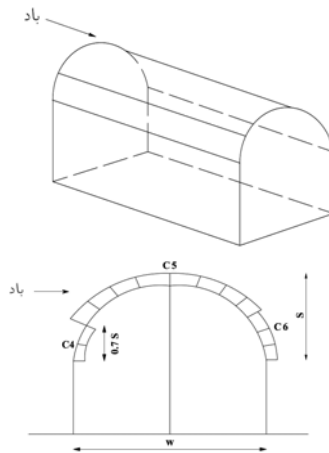
$\beta =$ زاویه بین امتداد وزش باد و امتداد متعامد بر محور عضو

$$k_x = \frac{x}{b} \text{ و } \frac{A_s}{A}$$

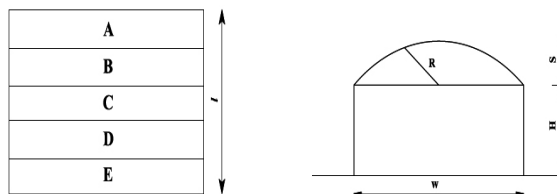
| اعضای دارای گروه سطح صاف و مناسب $d\sqrt{q} < 0.167$ | | | اعضای دارای سطح گروه صاف و زبر و خشن $d\sqrt{q} < 0.167$ | | | اعضای تیز گوشه | | | β |
|---|--------------------|-------------------|---|-----|-------------------|----------------|-----|-------------------|---------|
| k_x | k | $C_{\alpha\beta}$ | k_x | k | $C_{\alpha\beta}$ | k_x | k | $C_{\alpha\beta}$ | |
| مقدار ثابت ۰/۹۵ | ۰/۹ برای $d=25$ | ۰/۶۰ | (۳) | (۲) | ۱/۲۰ | (۳) | (۲) | ۱ | ۰° |
| | | ۰/۵۸ | | | ۱/۱۶ | | | ۰/۹۸ | ۱۵° |
| | | ۰/۵۳ | | | ۱/۰۴ | | | ۰/۹۳ | ۳۰° |
| | | ۰/۴۲ | | | ۰/۸۵ | | | ۰/۸۸ | ۴۵° |
| | | ۰/۲۸ | | | ۰/۶۰ | | | ۰/۸۸ | ۶۰° |

شکل ۳-۲۴- خرپاهای فضاکار (سه بعدی)

۳-۲-۱۱-۵-۲- سازه‌های چلیکی



(الف) - سازه با رویه چلیکی در ارتفاع (امتداد وزش باد عمود بر محور استوانه)



سازه با رویه چلیکی در ارتفاع (امتداد وزش باد موازی با محور استوانه)

مقادیر ضرایب C_p برای چلیک‌ها در ارتفاع (امتداد وزش باد عمود بر محور استوانه)

| C_6 | C_5 | C_4 | S/W |
|-------|-------|-------|-----|
| -۰/۵ | -۰/۸ | ۰/۱ | ۰/۱ |
| -۰/۵ | -۰/۹ | ۰/۰ | ۰/۲ |
| -۰/۵ | -۱/۰ | ۰/۲ | ۰/۳ |
| -۰/۵ | -۱/۱ | ۰/۴ | ۰/۴ |
| -۰/۵ | -۱/۲ | ۰/۷ | ۰/۵ |

مقادیر ضرایب C_p برای چلیک‌ها در ارتفاع (امتداد وزش باد در راستای محور استوانه)

| ناحیه | A | B | C | D | E |
|-------|------|------|------|------|------|
| C_p | -۰/۸ | -۰/۷ | -۰/۵ | -۰/۳ | -۰/۱ |

شکل ۳-۲۵

۳-۵-۱۱-۲-۳- کنش‌های ناشی از باد بر رویه‌های گنبدی

شدت و توزیع بار باد بر گنبدها به طور عمده به نسبت ارتفاع به دهانه گنبد، وضعیت توپوگرافی محل و همچنین ویژگی‌های سازه‌ها و محیط و ابنیه مصنوع مجاور و بالادست بستگی دارد. الگوی جریان باد و در نتیجه نحوه توزیع نیروهای ناشی از باد بر سازه در عین حال با حضور بازشوهای نسبتاً بزرگ و منافذ نسبتاً ریز و همچنین میزان زبری (یا ناهمواری) سطوح تغییر می‌نماید. ملزومات ارائه شده در این آیین‌نامه به شرح زیر، برای برآورد اولیه کنش‌های ناشی از باد بر گنبدها ارائه گردیده‌اند و در مورد سازه‌های فضاکار گنبدی شکل با دهانه‌های نسبتاً بزرگ و با طبقه‌بندی عمر مفید ۳ و ۴ (مطابق فصل ۲)، طراحی تفصیلی باید براساس نتایج آزمایش‌های تونل باد صورت گیرد. برای آزمایش‌های سازه‌های فضاکار گنبدی در تونل باد لازم است پروفیل سرعت و حالات اغتشاش طبیعی باد و آثار ناشی از عدد رینولدز به نحو واقع‌گرایانه‌ای با توجه به انحنای سطح سازه شبیه‌سازی شود. در مورد گنبد با ویژگی‌های هندسی معین، افزایش زبری (ناهمواری) سطوح پوشانه‌ها منجر به افزایش نیروی جانبی و کاهش نیروی بر کنش (رو به بالا) در مقایسه با سطوح پوشانه هموارتر (زبری کمتر) می‌گردد.

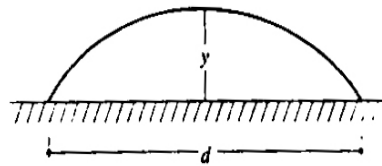
کنش‌های ناشی از باد، اغلب، بخش قابل ملاحظه‌ای از آثار ناشی از ترکیب کنش‌های محتمل‌الوقوع وارده بر سازه فضاکار گنبدی شبکه‌ای را شامل می‌گردند. در گنبدهای با منافذ ناچیز به‌طور معمول بر ناحیه‌ای واقع در سمت بادگیر نیروی فشاری وارد می‌گردد؛ ولی بخش بزرگ‌تری از سطح سازه تحت تأثیر مکش قرار می‌گیرد. مساحت سطح تحت مکش با افزایش نسبت ارتفاع به دهانه گنبد افزایش می‌یابد.

گنبد تشکیل شده از بخشی از کره که مستقیماً بر زمین استقرار یافته

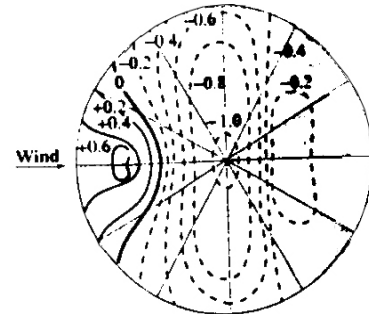
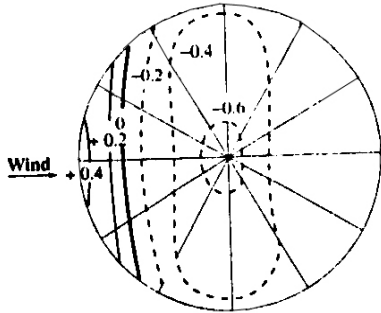
با توجه به موارد مندرج در بند ۳-۲-۱۱-۴، ضرایب فشار (یا مکش) C_p برای گروهی از گنبدهای دارای دیسه شامل بخشی از کره که بر زمین استقرار یافته‌اند، با مقادیر نسبت ارتفاع به دهانه از $\frac{1}{15}$ تا $\frac{1}{4}$ در جدول شکل ۳-۲۶ ارائه شده است.

گنبد مستقر در ارتفاع متکی بر سازه سیلندری (چلیکی) شکل

آثار ناشی از باد بر گنبد مستقر در ارتفاع و متکی بر سازه چلیکی شکل از نظر کمی مقادیر بزرگ‌تری از حالت گنبد مستقر بر زمین داشته و از نظر کیفی نیز توزیع فشار و مکش در این دو حالت، بسته به میزان ارتفاع سازه چلیکی شکل تکیه‌گاهی، متفاوت خواهند بود. برخی از حالات مورد انتظار نحوه توزیع فشار و مکش بر سطوح گنبدی مستقر در ارتفاع واقع بر سازه چلیکی شکل تکیه‌گاهی در شکل ۳-۲۷ ارائه گردیده است. برای سازه‌های گنبدی با نسبت $\frac{V}{d}$ کوچک‌تر از $\frac{1}{5}$ مستقر بر سازه چلیکی شکل تکیه‌گاهی با ارتفاع افزون‌تر از $\frac{d}{4}$ ، تمام سطح گنبد تحت تأثیر مکش قرار می‌گیرد. مقادیر ضرایب فشار یا مکش برای رویه‌های گنبدی مستقر در ارتفاع واقع بر سازه‌های چلیکی تکیه‌گاهی در جدول ذیل شکل ۳-۲۷ درج گردیده است. تمام آثار فشار یا مکش در هر موضع به صورت متعامد بر سطح در نظر گرفته می‌شوند.



الف) نما



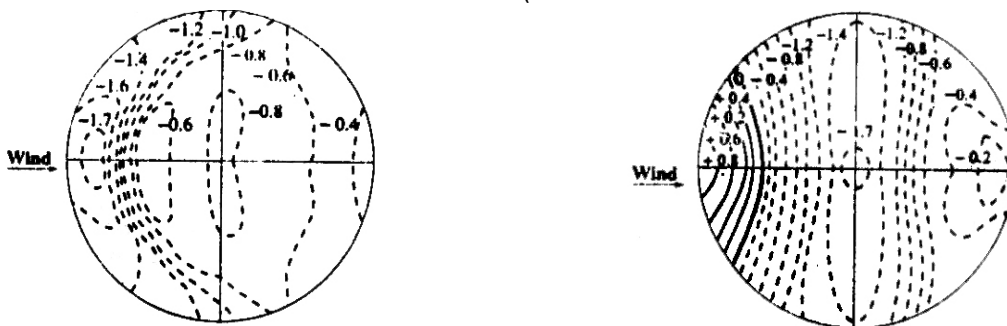
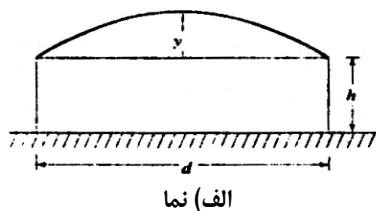
پ) دید از بالا، خطوط هم‌تراز ضرایب فشار و مکش برای $\frac{y}{d} = \frac{1}{4}$

ب) دید از بالا، خطوط هم‌تراز ضرایب فشار و مکش برای $\frac{y}{d} = \frac{1}{2}$

مقادیر بیشینه ضرایب فشار و مکش و مقدار ضریب بر کنش کلی برای رویه‌های گنبدی متشکل از بخشی از کره مستقر بر زمین

| ضریب بر کنش کلی، C_L | مقادیر بیشینه ضریب مکش در ناحیه مرکزی، C_p | مقادیر بیشینه ضریب فشار، C_p | نسبت ارتفاع به دهانه $\frac{y}{d}$ |
|------------------------|--|--------------------------------|------------------------------------|
| ۰/۱۵ | -۰/۳ | +۰/۱ | $\frac{1}{15}$ |
| ۰/۲ | -۰/۳ | +۰/۲ | $\frac{1}{10}$ |
| ۰/۲ | -۰/۴ | +۰/۲ | $\frac{1}{8}$ |
| ۰/۳ | -۰/۵ | +۰/۳ | $\frac{1}{6}$ |
| ۰/۳ | -۰/۶ | +۰/۴ | $\frac{1}{4}$ |
| ۰/۵ | -۱/۰ | +۰/۶ | $\frac{1}{2}$ |

شکل ۳-۲۶- مقادیر بیشینه ضرایب فشار یا مکش (C_p) و بر کنش کلی (C_L) برای گنبد تشکیل شده از بخشی از کره مستقر بر زمین با نسبت ارتفاع به دهانه متفاوت و نحوه توزیع فشار و مکش اعمال‌شونده بر گنبد، تحت تأثیر مؤلفه افقی ناشی از باد ($C_L q \pi d \frac{2}{4} \cong$ مقدار تقریبی نیروی کل بر کنش).



پ) نمای گنبد در پلان، نشانگر خطوط هم تراز ضرایب مکش برای گنبد با مشخصه هندسی $\frac{y}{d} = \frac{1}{10}$ مستقر بر سازه چلیکی تکیه گاهی با ارتفاع، h ، برابر با قطر چلیک، d .

ب) نمای گنبد در پلان، نشانگر خطوط هم تراز ضرایب فشار و مکش برای گنبد با مشخصه هندسی $\frac{y}{d} = \frac{1}{2}$ (نیم کره) مستقر بر سازه چلیکی تکیه گاهی با ارتفاع، h ، برابر با نصف قطر چلیک $(\frac{d}{2})$.

مقادیر ضرایب فشار یا مکش برای گنبد مستقر در ارتفاع واقع بر سازه اتکایی چلیکی

| موقعیت | | | نسبت $\frac{h}{d}$ | نسبت $\frac{y}{d}$ |
|-------------------|--------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| در سمت پشت بادگیر | در مرکز گنبد | درست در منتهی الیه سمت بادگیر | | |
| -۰/۴ | -۱/۵ | +۰/۹ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2}$ |
| -۰/۴ | -۱/۷ | +۰/۸ | | |
| -۰/۵ | -۱/۷ | +۰/۸ | | |
| -۰/۴ | -۰/۹ | -۰/۱ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{6}$ |
| -۰/۳ | -۰/۶ | -۱/۲ | | $\frac{1}{10}$ |
| -۰/۳ | -۰/۵ | -۱/۴ | | $\frac{1}{15}$ |
| -۰/۲ | -۰/۴ | -۱/۴ | | $\frac{1}{20}$ |
| -۰/۴ | -۱/۱ | -۱/۴ | | |
| -۰/۴ | -۰/۸ | -۱/۷ | ۱ | $\frac{1}{6}$ |
| -۰/۴ | -۰/۵ | -۱/۵ | | $\frac{1}{10}$ |
| -۰/۴ | -۰/۵ | -۱/۵ | | $\frac{1}{15}$ |
| -۰/۴ | -۰/۵ | -۱/۴ | | $\frac{1}{20}$ |

شکل ۳-۲۷- مقادیر ضرایب فشار یا مکش در مواضع مهم گنبدهای مستقر در ارتفاع واقع بر سازه اتکایی چلیکی برای مقادیر متفاوت نسبت های ارتفاع گنبد به قطر چلیک و نسبت های ارتفاع چلیک به قطر چلیک

ضرایب فشار داخلی

فشار داخلی تابع ابعاد و موقعیت بازشوها و منافذ و شرایط داخلی سازه و نحوه تأثیرگذاری جریان خارجی باد پس از عبور از بازشوها در داخل گنبد می‌باشد. فشار داخلی در اغلب موارد اثر قابل ملاحظه‌ای در مقدار برآیند نیروی برکنش کلی سازه گنبدی دارد. اطلاع متقنی در ارتباط با مقادیر فشار داخلی برای گنبدها در دست نمی‌باشد و در این مورد باید جانب احتیاط رعایت و فشار داخلی به نحو واقع‌گرایانه ولی به میزان محافظه‌کارانه‌ای تخمین زده شود. با توجه به کمبودهای اطلاعات در زمینه بارگذاری کنش‌های ناشی از باد بر سازه‌های گنبدی، توصیه می‌شود با توجه به جمیع جهات، سازه‌های گنبدی با دقت کامل از نظر هندسی، زبری سطوح و میزان بازشوها شبیه‌سازی گردند و ضرایب فشارها و مکش‌های بیرونی و درونی برای هر حالت، از طریق آزمایش در تونل باد تعیین گردد.

لازم به یادآوری است که در بیشتر موارد، بررسی آثار اندرکنشی باد و سازه از طریق شبیه‌سازی مدل‌های کوچک مقیاس با دقت قابل قبولی میسر نمی‌گردد. به طور کلی، سازه فضاکار گنبدی دو یا چند لایه دارای سختی قابل ملاحظه‌ای می‌باشد و در صورتی که پوشانه‌ها دارای انعطاف‌پذیری اندکی بوده و آثار زبری سطوح به درستی شبیه‌سازی شود، انتظار می‌رود نتایج آزمایش تونل باد در مورد سازه‌های گنبدی فضاکار شبکه‌ای در حد قابل‌پذیرشی برای مقاصد طراحی قابل کاربرد باشند.

۳-۲-۱۲- بارهای ناشی از زلزله

۳-۲-۱۲-۱- مقدمه

با توجه به آنکه پاسخ سازه به تحریکات ناشی از زمین لرزه ماهیت دینامیکی دارد، مشخصه‌های دینامیکی سازه، شالوده و خاک زیر شالوده و همچنین ویژگی‌های ژئوتکنیکی لرزه‌ای ساختگاه، خصوصیات توپوگرافی محل، وضعیت لرزه زمین‌ساختی و شرایط لرزه‌خیزی و زمین‌شناسی مهندسی منطقه، نوع و مکانیسم محتمل گسلش، محتوای فرکانسی، طول مدت نوسان‌های شدید زمین و احتمال وقوع زلزله در حوزه نزدیک و بروز پدیده‌هایی از قبیل روانگرایی و گسترش جانبی خاک تأثیر قابل توجهی در پاسخ لرزه‌ای سازه خواهند داشت. برای تعیین بیشینه شتاب حرکت زمین بسته به میزان اهمیت سازه و خطرپذیری ساختگاه، دامنه مطالعات از حد توصیه‌های عمومی آیین‌نامه‌های ساختمانی تا نتایج مبتنی بر مطالعات تحلیل خطر ویژه ساختگاه متفاوت اختیار می‌شود.

۳-۲-۱۲-۲- سطوح خطر زمین لرزه در طراحی مبتنی بر عملکرد

در طراحی مبتنی بر عملکرد، سطوح خطر زمین لرزه در ارتباط با ترازهای عملکردی سازه فضاکار منظور خواهند گردید.

تفسیر- تاکنون در کشورمان طراحی سازه‌ها و سازه‌های فضاکار احداث شده برای یک سطح خطر زمین لرزه مورد نظر بوده است. زمین لرزه‌ها با مشخصه‌هایی که برای طراحی به کار گرفته می‌شده‌اند، به زلزله طراحی موسوم‌اند و انتظار بر این بوده که نمایشگر بزرگ‌ترین زمین لرزه‌ای باشند که به میزان مدلل در عمر مفید سازه محتمل‌الوقوع خواهد بود. به این ترتیب وقوع زمین لرزه با سطح خطر افزون‌تر، نامحتمل نبوده، بلکه احتمال وقوع آن اندک خواهد بود. احتمال وقوع زمین لرزه‌ای با مشخصه‌های تعریف شده را یا به صورت احتمال تجاوز طی بازه زمانی معین مطرح می‌سازند یا با دوره بازگشت معین مورد اشاره قرار می‌دهند.

۳-۲-۱۲-۲-۱- طراحی مبتنی بر یک سطح خطر (زمین‌لرزه طراحی)

در اغلب آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌ها استانداردهای عملکردی برای زلزله طراحی تک سطحی به شرح زیر در نظر گرفته شده‌اند:

- مقاومت در برابر زمین‌لرزه کوچک تا متوسط باید در حد رژیم الاستیک پاسخ تأمین شود؛ بدون آنکه خسارت قابل ملاحظه‌ای بر سازه اعمال گردد.

- در طراحی، شدت (یا بزرگای) زمین‌لرزه طراحی باید به میزان واقع‌گرایانه‌ای تخمین زده و به کار گرفته شود.

- وقوع زمین‌لرزه شدید نباید منجر به فروریزی کل یا بخشی از سازه گردد و هرگاه مقدور گردد، خساراتی که محتمل‌الوقوع است باید قابل ردیابی بوده و امکان دسترسی برای تعمیر بخش‌ها و اعضای مستعد تحمل خسارت وجود داشته باشد.

تفسیر - استانداردهای عملکردی مذکور در فوق با این مفهوم و هدف در نظر گرفته شده‌اند که :

- خسارت جانی به حداقل ممکن محدود گردد.
 - سازه احتمال خسارت دیدگی داشته ولی احتمال فروریزی آن باید به میزان قابل قبولی ناچیز و تقریباً منتفی باشد.
 - در مورد سازه‌های مهم و حیاتی، به خدمت‌رسانی آنان خدشه‌ای وارد نگردد.
 - در عمر مفید سازه، احتمال تجاوز سطح خطر زمین‌لرزه از آنچه در طراحی به کار گرفته شده به میزان قابل قبولی اندک باشد.
- دیدگاه فوق‌تولیداً اشاره بر این فرض دارد که در طراحی مبتنی بر یک سطح خطر و تراز عملکردی تک سطحی مذکور در فوق، در تمامی سطوح خطر زمین‌لرزه محتمل نیز سازه متناسب با اهمیت و عملکرد مورد نظر رفتار رضایتبخشی از خود ارایه خواهد داد.
- سطح خطر زمین‌لرزه طراحی در آیین‌نامه شماره ۲۸۰۰ سعی در تخمین طیف طراحی با احتمال تجاوز ۱۰٪ در پنجاه سال داشته که مرتبط با وقوع زمین‌لرزه‌ای با دوره بازگشت ۴۷۵ سال است.

۳-۲-۱۲-۲-۲- طراحی مبتنی بر دو سطح خطر زمین‌لرزه

در طراحی مبتنی بر دو سطح خطر زمین‌لرزه توصیه می‌شود از دیدگاه‌های مبتنی بر عملکرد تعریف شده سازه در دو سطح خطر در ترازهای بهره‌برداری و ایمنی بهره‌گیری شود. با توجه به تنوع سازه‌های فضاکار مشمول این آیین‌نامه، این ترازها به‌طور معمول باید بر اساس میزان اهمیت، عمر مفید، خطرپذیری ساختگاه و شرایط مورد نظر بهره‌برداری پس از وقوع زلزله تعیین گردند و لازم است مسؤولین طراحی سازه، در هماهنگی و با تأیید کارفرما در ارتباط با ترازهای عملکردی سازه فضاکار موردنظر در این زمینه اتخاذ تصمیم نمایند.

تفسیر - در تجارب خسارات زلزله‌های اخیر عدم کفایت روش‌های مبتنی بر یک سطح خطر زمین‌لرزه طراحی به ثبوت رسیده است. لذا جایگزینی دیدگاه و فرایند تک سطحی با دیدگاه دو یا چند سطحی ضروری به‌نظر می‌رسد. طراحی مبتنی بر عملکرد مورد انتظار تحت سطوح خطر متفاوت، با توجه به میزان اهمیت سازه فضاکار، روشی منطقی‌تر با قابلیت پاسخگویی مطلوب‌تر در ارتباط با اعتمادپذیری و در عین حال، پاسخگوی نیازهای بهره‌برداران با رعایت دیدگاه‌های ایمنی، فنی و اقتصادی پروژه تشخیص داده می‌شود. طراحی سازه‌های فضاکار به منظور ارضای ترازهای عملکردی و میزان خسارت تعریف شده برای دو سطح خطر زمین‌لرزه در سطوح بهره‌برداری و ایمنی، با قابلیت اتخاذ تصمیم مقتضی با توجه به جمیع جهات در ارتباط با دوره بازگشت زمین‌لرزه در هر دو سطح، روشی منطقی برای طراحی لرزه‌ای سازه‌های فضاکار به‌شمار می‌رود.

۳-۲-۱۲-۳- مشخصات زمین‌لرزه‌های طراحی

۳-۲-۱۲-۳-۱- کلیات

در حالتی که ویژگی‌های زمین‌لرزه محتمل در ساختمان را بتوان براساس اطلاعات حاصل از زلزله‌های گذشته و دانسته‌هایی در زمینه گسل‌های فعال، زلزله‌های واقع شده در اثر گسلش در مرز صفحات تکتونیکی، ساختار زمین‌شناسی منطقه، شرایط خاک محلی، نگاشت‌های زمین‌لرزه‌های قبلی و نظایر آن تخمین زد، مشخصه‌های زمین‌لرزه ویژه ساختگاه را برای سازه‌های فضاکار مهم، که معمولاً دارای عمر مفید قابل ملاحظه‌اند، باید تعیین نمود و این امر در هر دو سیستم طراحی تک‌سطحی و طراحی مبتنی بر عملکرد در دو سطح خطر برای سازه‌های مهم توصیه می‌شود. در صورتی که اطلاعات مقتضی در ارتباط با ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای منطقه دربرگیرنده ساختگاه در اختیار باشد، مشخصه‌های زمین‌لرزه ویژه ساختگاه را می‌توان با روش‌های ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی لرزه‌ای و بررسی ویژگی‌های ستون خاک از تراز بستر سنگی تا تراز پی تخمین زد.

۳-۲-۱۲-۳-۲- مؤلفه‌های حرکت زمین

در اغلب موارد کافی خواهد بود سه مؤلفه حرکت انتقالی زمین در نظر گرفته شوند. در تحلیل طیفی، سازه را می‌توان به‌طور جداگانه برای زمین‌لرزه‌های ناشی از مؤلفه‌های طولی، عرضی و قائم زلزله تحلیل و آثار ترکیبی آن‌ها را به‌شرح مقرر در این آیین‌نامه در نظر گرفت.

در حالت تحلیل خطی در بازه زمان یا در حالتی که مدل ۶ مؤلفه‌ای حرکت زمین یا آثار ناشی از تغییرات فضایی یا تحریک نامتجانس تکیه‌گاهی در دست مطالعه است، لازم است تحلیل به‌صورت همزمان تحت تأثیر این مجموعه مؤلفه‌ها قرار داده شود. هر مؤلفه حرکت زمین باید حداقل به یکی از روش‌های زیر کمی گردد:

- طیف پاسخ
- طیف نمایی
- تاریخچه زمانی

تفسیر - آثار ناشی از زلزله را می‌توان از طریق یک فرایند گوسی تصادفی نیز توصیف کرد. در این حالت از طیف نمایی بهره‌گیری می‌شود. توصیف حرکت در این حالت باید به ترتیبی اتخاذ گردد که با طیف پاسخ ویژه ساختگاه همساز باشد.

در چارچوب مطالعات به روش تاریخچه زمانی، مشخصه‌های حرکت زمین به دو صورت تعیین و در محاسبات به‌کار گرفته می‌شوند:

الف) شتاب نگاشت تولیدشده به روش‌های مصنوعی مبتنی بر دیدگاه‌های احتمال‌اندیشانه

ب) شتاب نگاشت‌های ثبت‌شده و میانگین‌گیری شده یا اصلاح‌شده.

۳-۲-۱۲-۳-۳- مشخصات زمین‌لرزه در روش‌های مبتنی بر یک سطح خطر

طیف‌های پاسخ طراحی استاندارد ۲۸۰۰ را می‌توان با توجه به ملزومات مندرج در بند ۳-۱-۵-۱-۸ در مطالعات تک‌سطحی برای طراحی به‌کار برد.

۳-۲-۱۲-۳-۴- مشخصات زمین‌لرزه در دو سطح خطر

در این دیدگاه دو سطح خطر به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

- زمین‌لرزه محتمل‌الوقوع در طول دوره بهره‌برداری (عمر مفید) سازه با بزرگای متوسط (سطح خطر ۱)،
- زمین‌لرزه مخرب که احتمال وقوع آن در طول دوره بهره‌برداری اندک است (سطح خطر ۲).

تفسیر- زمین‌لرزه در سطح خطر ۲ آنگاه تحقق می‌یابد که یا گسلش در مرز صفحات تکتونیکی اتفاق افتد (زلزله نوع I) یا گسلش در گسل‌های فرعی درون صفحات تکتونیکی در فواصل نسبتاً نزدیک با اثر حوزه نزدیک با ساختگاه (زمین‌لرزه نوع II) پدید آید. از مشخصه‌های زمین‌لرزه نوع I، دامنه بزرگ و تعداد سیکل‌های نوسان قابل‌ملاحظه می‌باشد. زمین‌لرزه‌های نوع II، اغلب دارای طول مدت کوتاه و آثار مخرب می‌باشند.

۳-۲-۱۲-۳-۵- طبقه‌بندی خاک و ضریب ساختگاه

با توجه به اثر بزرگ‌نمایی حرکت زمین در تراز بستر سنگی از طریق خاک روی بستر تا تراز پی، که تابع شدت حرکت زمین در تراز بستر سنگی و سختی و ضخامت لایه خاک زیر پی می‌باشد، در این آیین‌نامه، انواع خاک با کلاس‌های I تا IV مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰ طبقه‌بندی شده‌اند. در غیاب مطالعات تحلیل خطر ویژه ساختگاه و در مراحل آغازین مطالعات، می‌توان سطح خطر عمومی زمین‌لرزه ساختگاه را به صورت حاصل ضرب ضریب بازتاب خاک، در بیشینه شتاب زمین‌لرزه در تراز بستر سنگی، در نظر گرفت. در مورد خاک‌های مسأله‌دار، مطالعات ژئوتکنیکی لرزه‌ای و تحلیل خطر ویژه ساختگاه الزامی است.

۳-۲-۱۲-۳-۶- سطوح خطر زمین‌لرزه در این آیین‌نامه

در این آیین‌نامه دو سطح خطر زمین‌لرزه شامل زمین‌لرزه در سطح بهره‌برداری و زمین‌لرزه در سطح ایمنی ملاک مطالعات خواهند بود. مشخصه‌های زلزله در هریک از دو سطح خطر مزبور و ترازهای عملکردی متناظر با آن‌ها باید با توجه به عواملی از قبیل میزان اهمیت، عمر مفید، خطرپذیری و نوع خاک ساختگاه اختیار گردند. در مورد سازه‌های فضاکار متعارف واقع در فواصل بیش از ۲/۵ کیلومتر از گسل فعال و فاقد خطرپذیری ویژه ژئوتکنیکی یا مستقر بر خاک‌های غیرمسأله‌دار، در مواردی که به دلایلی، از جمله عدم وجود اطلاعات مکفی در ارتباط با مشخصه‌های زلزله در دو سطح خطر مزبور و عدم در اختیار بودن فرصت یا امکانات کافی برای انجام مطالعات تحلیل خطر ویژه ساختگاه، صرفاً مشروط به تأیید کارفرما، روش تک‌سطحی مبتنی بر زلزله در سطح خطر طراحی با دوره بازگشت ۴۷۵ سال برای سازه‌های فضاکار با عمر مفید متناظر با گروه عمر مفید ۳، مطابق با جدول ۲-۱ قابل کاربرد خواهد بود.

۳-۲-۱۲-۳-۷- تهیه مشخصه‌های زمین‌لرزه ویژه ساختگاه

در این آیین‌نامه روش تخمین مشخصه‌های زمین‌لرزه ویژه ساختگاه محدود نگردیده است و با بهره‌گیری از داده‌های ثبت‌شده حرکت زمین و به‌کارگیری راه‌کارهای مناسب مانند استفاده از روابط کاهندگی سازگار با شرایط منطقه‌ای و محلی و به‌کارگیری روش‌های نظری یا نیمه‌تجربی برای شبیه‌سازی حرکت زمین، می‌توان به تخمین قابل‌قبولی از مشخصه‌های حرکت زمین دست

یافت و آثار زلزله را در هماهنگی با ویژگی‌های مسیر سیر امواج ناشی از گسلش در محاسبات به کار برد. چارچوب و نتایج این مطالعات باید به تأیید کارفرما رسانده شود.

۳-۲-۱۲-۳-۸- تهیه طیف‌های پاسخ و یا تاریخچه‌های زمانی حرکت زمین ویژه ساختگاه

در هر یک از موارد زیر، در سطح کشوری تهیه طیف‌های پاسخ و یا تاریخچه‌های زمانی حرکت زمین ویژه ساختگاه الزامی است:

- سازه‌های طبقه‌بندی شده در رده سازه‌های فضاکار مهم،
- سازه‌های فضاکار واقع در فاصله ۲/۵ کیلومتر از گسل شناسایی شده فعال،
- سازه‌های واقع بر خاک‌های مسأله‌دار در مناطق با خطرپذیری لرزه‌ای زیاد و خیلی زیاد (مطابق طبقه‌بندی آیین‌نامه ۲۸۰۰)،

- مواردی که کارفرما یا مدیر طرح مقرر می‌دارد (که غیر از موارد فوق شامل مواردی است که مطالعات ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیکی لرزه‌ای برای منطقه به عمل نیامده، یا طیف‌های پاسخ مرتبط در دو سطح خطر مورد نظر برای منطقه موجود نیست، یا در نظر نیست از فرضیات ساده‌شده برای دستیابی به طیف‌های طرح در دو سطح خطر مورد نظر به مدد طیف‌های موجود یکنواخت ارایه شده در سطح کشوری یا منطقه بهره‌برداری شود و یا دقت افزون‌تری مورد نظر کارفرما یا مدیریت طرح‌ها است).

مطالعات ویژه ساختگاه باید شامل شناسایی منابع و موقعیت چشمه‌های لرزه‌زا، مکانیسم محتمل گسلش و به‌کارگیری روابط کاهندگی متناسب با شرایط موجود و شناسایی و تحلیل پاسخ دینامیکی خاک ساختگاه باشد. در مطالعات احتمال‌اندیشانه (شایدی)، منابع عدم قطعیت باید مورد توجه قرار داده شوند و از جمله لازم است آثار عدم قطعیت در موقعیت منابع چشمه‌های لرزه‌زا، طول و عمق و هندسه گسل، بزرگای بیشینه زمین‌لرزه، دوره بازگشت و روابط کاهندگی حاکم مورد مطالعه قرارداد شوند.

جزئیات مطالعات تحلیل خطر، شامل مطالعات میدانی، پیمایش و همچنین مطالعات کتابخانه‌ای و مستندات ذیربط و شیوه انجام کار باید در گزارش مربوطه ارایه و توسط کارفرما بررسی گردد. بدون تأیید کارفرما، به‌کارگیری نتایج حاصله مجاز نمی‌باشد.

در مطالعه آثار مؤلفه‌های افقی حرکت زمین، در مورد سازه‌های فضاکار واقع در فاصله افقی کمتر از ۱۰ کیلومتر از گسل شناسایی شده فعال، باید آثار ناشی از حرکت‌های متزاید زمین در جهات متفاوت و به ویژه متعامد بر مسیر گسلش، برای سازه‌های با پی‌یود ارتعاش آزاد اساسی متجاوز بر ۰/۵ ثانیه، مورد بررسی قرار داده شوند. همچنین در صورت احتمال وقوع انشعاب شکست به سمت ساختگاه نیز باید این مطالعات برای سازه‌های فضاکار با پی‌یود ارتعاش مذکور در فوق به عمل آید.

۳-۲-۱۲-۳-۹- طیف پاسخ مرتبط با مؤلفه قائم حرکت زمین

نسبت مقادیر طیف پاسخ مرتبط با مؤلفه قائم حرکت زمین به مؤلفه افقی، تابع شرایط تکتونیکی، وضعیت توپوگرافی، نوع بدنه بستر سنگی و خاک منطقه، بزرگای زلزله، فاصله مرکز سطحی زمین‌لرزه از ساختگاه و زاویه بین محور قائم گذرنده از کانون و خط متصل‌کننده کانون زمین‌لرزه به ساختگاه و پی‌یود ارتعاش سازه فضاکار می‌باشد.

تفسیر - در ارتباط با نسبت مقادیر طیف پاسخ مرتبط با مؤلفه قائم زمین‌لرزه به مؤلفه افقی تجارب حاصل از زمین‌لرزه‌های گذشته حاکی از آن بوده است که توصیه‌های رایج در زمینه اتخاذ کسر $\frac{2}{3}$ برابر مشخصه‌های مؤلفه افقی، برای پریودهای طولانی محافظه‌کارانه و برای پریودهای کوتاه در جهت عدم اطمینان بوده است و در نواحی متأثر از حوزه نزدیک زلزله، نسبت‌های مقادیر طیفی مؤلفه قائم به افقی به میزان متجاوز بر یک نیز برای پریودهای کوتاه‌تر از ۰/۱ ثانیه ثبت گردیده است.

توصیه می‌شود برای سازه‌های فضاکار با پریود ارتعاش ۰/۲ ثانیه و فراتر، از نسبت $\frac{2}{3}$ استفاده شود؛ مگر آنکه مطالعات تحلیل خطر متقنی صورت پذیرفته و مقادیر کوچک‌تری را ارایه دهند. در هر حال این نسبت را نباید از ۰/۵ کوچک‌تر اختیار نمود.

در مورد سازه‌های فضاکار با پریود ارتعاش کوچک‌تر از ۰/۲ ثانیه در حوزه نزدیک، باید مطالعات تحلیل خطر به منظور تهیه طیف پاسخ مرتبط با مؤلفه قائم حرکت زمین به عمل آید.

در مواردی که اثر مؤلفه قائم حرکت زمین حایز اهمیت است (شامل سازه‌های فضاکار واقع در حوزه نزدیک گسلش، سازه‌های فضاکار دارای طول دهانه‌های قابل ملاحظه در دو امتداد متعامد و سازه‌های فضاکار متکی بر پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های فولادی مستعد کمانش یا شکست جوش)، در صورت انجام مطالعات تحلیل خطر ویژه ساختگاه، باید این مطالعات برای هر سه مؤلفه انتقالی حرکت زمین، شامل مؤلفه قائم، به عمل آید.

۳-۲-۱۲-۳-۱۰- میزان اهمیت سازه فضاکار

در این آیین‌نامه طبقه‌بندی سازه‌های فضاکار از دیدگاه اهمیت شامل دو گروه سازه‌های فضاکار معمولی (متعارف) و سازه‌های فضاکار مهم می‌باشد. سازه‌های فضاکار مهم در ارتباط با مواردی از قبیل ضرورت بهره‌برداری بلاوقفه یا تعداد افرادی که در بازه زمانی قابل ملاحظه در خود جای می‌دهند یا نوع تجهیزات و موادی که در برمی‌گیرند و یا اهمیت نمادین و عمر مفید مورد نظر، از سازه‌های فضاکار متعارف متمایز می‌گردند.

۳-۲-۱۲-۴- بارگذاری و تحلیل آثار ناشی از زلزله

با توجه به عناصر گوناگون عدم قطعیت در تعیین ویژگی‌های زمین‌لرزه، آثار ناشی از زلزله را نیز علی‌القاعده باید از دیدگاه احتمال‌اندیشانه (شایدی) مورد بررسی قرار داد؛ ولی با توجه به پیچیدگی‌های تحلیل دینامیکی غیرخطی احتمال‌اندیشانه سازه‌های فضاکار، به طور معمول از روش‌های تعیینی (بایدی) بهره‌گیری می‌شود. براساس ویژگی‌های سازه و نوع و میزان اهمیت آثار ناشی از زلزله بر سازه فضاکار مورد نظر، روش‌های تحلیل و نوع بارگذاری از یکدیگر قابل تفکیک نیستند و از روش‌های ساده‌تر تا شیوه‌های پیشرفته‌تر به شرح زیر دسته‌بندی می‌شوند.

۳-۲-۱۲-۴-۱- روش استاتیکی معادل

در این روش برای مقاصد طراحی، پاسخ ناشی از اثر دینامیکی زمین‌لرزه با رفتار استاتیکی سیستم تحت تأثیر مجموعه‌ای از بارهای استاتیکی معادل در امتداد افقی تقریب زده می‌شود. این روش برای سازه‌های فضاکار متعارف دارای انتظام هندسی در پلان و ارتفاع متشکل از سقف‌های شبکه‌ای تخت تک‌لایه و چندلایه، در حالتی که فاصله مرکز جرم و سختی در آنان ناچیز بوده و دارای پایه‌های با سختی همسان و دهانه‌های مجاور با طول دهانه‌های یکسان یا نزدیک به یکدیگر باشند و در عین حال، جرم سازه و

کف‌سازی قابل ملاحظه نباشد، نتایج قانع‌کننده‌ای برای تخمین برش پایه‌ها و سیستم‌های تکیه‌گاهی مهاربندی شده سقف‌های فضاکار، به دست می‌دهد. در هر حال، احتمال بروز کمانش و سایر گونه‌های خرابی و شکست اعضای سازه فضاکار، اتصالات و پایه‌ها را در اثر مؤلفه قائم زمین‌لرزه، به ویژه در حوزه نزدیک گسلش نباید از نظر دور داشت. بنابراین بهره‌گیری از این روش برای مقاصد مذکور در فوق و صرفاً برای طراحی پایه‌ها و اعضای مهاربندی سازه‌های منتظم مشروحه فوق به طور معمول کفایت می‌نماید؛ ولی برای طراحی سازه فضاکار شبکه‌ای سقف همین سازه‌ها نیز کافی تلقی نمی‌شود.

تفسیر- در مورد سازه‌های فضاکار تخت متکی بر پایه‌ها و ستون‌های مهاربندی‌شده با هندسه ساده، در صورت ارضای شرایط مذکور در فوق، تحلیل به روش استاتیکی معادل در طراحی اولیه پایه‌ها و اعضای مهاربندی نگهدارنده سازه فضاکار مزبور قابل کاربرد است. باید توجه داشت که اثر مؤلفه قائم زمین لرزه، که با این روش مورد بررسی قرار داده نمی‌شود، در مورد بسیاری از سازه‌های فضاکار مشمول این آیین‌نامه به‌طور معمول قابل ملاحظه بوده و بنابراین در چنین مواردی نیز کفایت روش استاتیکی معادل در مراحل طراحی تفصیلی مورد تردید است و توصیه می‌شود از روش‌های پیشرفته‌تر بارگذاری و تحلیل که در بندهای زیر تشریح خواهند شد، در طراحی تفصیلی بهره‌گیری به عمل آید.

با توجه به عدم قطعیت در ارتباط با تحریکات محتمل ناشی از زمین‌لرزه در سطوح خطر متفاوت مورد نظر (متناظر با دوره بازگشت متناسب با عمر مفید، میزان اهمیت و...)، اغلب کوشش بر این است که تا حد امکان از روش‌های ساده‌سازی شده‌ای که با رفتار سازه سازگاری داشته باشند، بهره‌گیری شود. از جمله در روش اعمال بار معادل استاتیکی ناشی از کنش‌های لرزه‌ای، سعی می‌شود کنش‌های دینامیکی ناشی از زلزله با کنش‌های استاتیکی به صورت بارهای معادل شبیه‌سازی شوند. کاربرد روش شبه استاتیکی (استاتیکی مستعار) به شرح مورد اشاره، صرفاً برای سازه‌های ساده و منتظم در آیین‌نامه‌های ساختمانی، مجاز دانسته شده است. در مورد سازه‌های فضاکاری که دارای پیچیدگی‌هایی از نظر فرم هندسی و نحوه توزیع جرم و یا سختی باشند، لازم است تحلیل دینامیکی صورت گیرد.

در مورد سازه‌های فضاکار شبکه‌ای تخت مستقر بر مجموعه‌ای از ستون‌ها (با یا بدون مهاربندی یا دیوار برشی)، در حالی که سازه دارای تقارن هندسی بوده و مرکز جرم و سختی تقریباً بر یکدیگر منطبق باشند و در صورتی که صرفاً اثر تک مؤلفه‌ای زمین‌لرزه در راستای افقی مورد نظر باشد، با توجه به آنکه سازه‌های فضاکار شبکه‌ای مورد استفاده در پوشش بام و سقف‌ها اغلب در درون صفحه خود دارای صلبیت قابل ملاحظه بوده و قابلیت عملکرد به صورت دیافراگم صلب افقی را خواهند داشت، محدودیت در کاربرد روش استاتیکی معادل براساس روش‌های ارایه‌شده در آیین‌نامه‌های ساختمانی با توجه به وابستگی نتایج به رفتار مجموعه سازه تکیه‌گاهی (شامل ستون‌ها، با یا بدون مهاربندی یا دیوار برشی)، همانند سایر گونه‌های سازه‌های ساختمانی خواهد بود. با این‌همه طراح باید در ارتباط با ضرورت بررسی آثار ناشی از مؤلفه قائم زمین‌لرزه، که به‌ویژه در سازه‌های فضاکار مشمول این آیین‌نامه حایز اهمیت‌اند، بررسی‌های لازم را به عمل آورد.

۳-۲-۱۲-۴-۲- روش تحلیل طیفی

۳-۲-۱۲-۴-۱- تحلیل طیفی تک مودی

در مورد سازه‌های فضاکار شبکه‌ای تخت منتظم پوشش بام مستقر بر سازه تکیه‌گاهی منتظم، برای بررسی اولیه اثر تک مؤلفه‌ای زمین‌لرزه در راستای افقی، ساده ترین روش دینامیکی تحلیل طیفی تک‌مودی (شبیه‌سازی سیستم به سیستم با یک درجه آزادی انتقالی افقی) خواهد بود؛ ولی با توجه به رفتار مسلط سه بعدی سازه‌های فضاکار شبکه‌ای در انواع و دیسه‌های گوناگون، به طور معمول تعداد قابل ملاحظه‌ای از مودها دارای مشارکت مودی قابل اعتنا خواهند بود و لذا تحلیل تک مودی صرفاً برای تخمین نیروهای برشی پایه سازه تکیه‌گاهی در امتداد افقی قابل کاربرد خواهد بود.

۳-۲-۱۲-۴-۲-۲- تحلیل طیفی چند مودی

در مورد سازه‌های فضاکار شبکه‌ای که به‌طور معمول به دلیل رفتار سه‌بعدی در پاسخ دینامیکی آن‌ها مودهای متفاوت و متعددی مشارکت می‌نمایند، تحلیل طیفی چند مودی قابل کاربرد است. همچنین اثر مؤلفه قائم زمین‌لرزه، به ویژه در مورد سازه‌های فضاکار پوشش دهانه‌های وسیع، با توجه به نسبت قابل ملاحظه بار زنده یا برف به بار مرده در اغلب این سازه‌ها، حایز اهمیت خواهد بود. بنابراین، در اینجا توصیه می‌شود به عنوان ملزومات حداقل در طراحی سازه‌های فضاکار شبکه‌ای از روش تحلیل دینامیکی طیفی چند مودی بهره‌گیری شود. تعداد حداقل مودهایی که در چنین تحلیلی ملحوظ می‌گردند، باید به‌میزانی باشد که حداقل ۹۰٪ میزان مشارکت مودها را شامل گردند.

۳-۲-۱۲-۴-۳- ترکیب آثار مؤلفه‌های انتقالی زلزله

در مواردی که رفتار غیرخطی دینامیکی سیستم سازه فضاکار مسلط تلقی نگردد، می‌توان اثر مؤلفه قائم ناشی از زلزله را، از طریق تحلیل طیفی در نظر گرفت. در تحلیل طیفی، مجاز است ترکیب آثار مؤلفه‌های متعامد را در سه امتداد حرکتی به صورت ۱۰۰٪ در امتداد مورد نظر اصلی در ترکیب با آثار ۳۰٪ و ۳۰٪ مؤلفه‌های متعامد بر امتداد اصلی ملحوظ نمود.

۳-۲-۱۲-۴-۴- آثار اندرکنش خاک - سازه

در مورد ضرورت در نظر گرفتن آثار اندرکنش خاک - سازه باید اتخاذ تصمیم نمود و در موارد لازم، مطالعات مربوطه را به‌عمل آورد. چنین مطالعاتی شامل مدل‌سازی واقع‌گرایانه خاک - شالوده و سازه به قصد منظورداشتن این آثار در تحلیل طیفی خواهد بود.

۳-۲-۱۲-۴-۵- اثر تحریک نامتجانس تکیه‌گاه‌ها

در مواردی که به دلیل ابعاد قابل ملاحظه دهانه‌ها و فواصل تکیه‌گاه‌های سازه یا تغییرات شرایط خاک زیر پی‌های پایه‌ها و تکیه‌گاه‌ها یا وضعیت توپوگرافیک ساختگاه بررسی آثار تحریک نامتجانس تکیه‌گاه‌ها و نحوه انتشار فضایی امواج و تأخیرات فاز در تحریک پایه‌ها و امتداد و مشخصه‌های تحریک ضرورت یابد، از روش‌های مودی می‌توان این آثار را مورد بررسی قرار داد. در این حالت، سناریوهای محتمل آزادشدن انرژی ناشی از زلزله با توجه به موقعیت منبع آزادشدن انرژی، نوع سازه و کار گسلش و شیوه انتشار امواج و همچنین آثار تأخیرات فاز در حرکت خاک زیر پی و تحریک تکیه‌گاه‌ها باید در تحلیل منظور گردد.

تفسیر - به‌ویژه در مورد سازه‌های فضاکار پوشش فضاهای وسیع، پی‌ها و تکیه‌گاه‌ها تحریکات نامتجانس ناشی از اختلاف فاز در تحریک شالوده‌ها را در اثر توزیع فضایی هندسی شالوده‌ها و نحوه انتشار امواج ناشی از زلزله تجربه خواهند کرد. این تحریکات به‌طور کلی در سه امتداد متعامد (دو امتداد افقی و امتداد قائم) بسته به نحوه جهت انتشار امواج، ویژگی‌های ژئوتکنیکی لایه‌های ساختگاه، توپوگرافی محل، هندسه استقرار شالوده‌ها و فواصل آن‌ها و آثار اندرکنش خاک - پی - سازه می‌تواند حایز چنان اهمیتی باشد که پاسخ کاملاً متفاوتی را در مقایسه با تحریکات هم‌فاز ایجاد نماید. در عین حال، اختلاف تغییرمکان‌های تکیه‌گاه‌ها در چنین حالاتی تابع زمان خواهند بود.

در مورد سازه‌های فضاکار، هرگاه شرایط زیر برقرار باشد، لازم است اثر تحریک نامتجانس تکیه‌گاهی به‌کار گرفته شود:

- ناپیوستگی از دیدگاه‌های زمین‌شناسی،
- آثار توپوگرافیک مؤثر بر رفتار سازه،
- سازه‌های فضاکار با دهانه‌های نسبتاً بزرگ.

۳-۲-۱۲-۳-۴-۳- روش تحلیل تاریخچه زمانی الاستیک

این روش در رژیم رفتار خطی سیستم برای سازه‌های منظم و نامنظم قابل کاربرد می‌باشد. در این روش باید حداقل ۳ و ترجیحاً ۷ مجموعه متمایز تاریخچه زمانی شتاب برای ساختگاه سازه تهیه یا همساز با ویژگی‌های لرزه‌خیزی، لرزه زمین‌ساختی و ژئوتکنیک لرزه‌ای ساختگاه - در تطابق با ساز و کار گسلش محتمل و شرایط توپوگرافیک و نوع خاک - اختیار گردند.

بنابراین حداقل ۳ و ترجیحاً ۷ تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی باید برای مدل سازه فضاکار صورت گیرد.

هر مجموعه تاریخچه زمانی شتاب حرکت زمین باید مشتمل بر ۳ مؤلفه حرکت انتقالی زمین باشد. در حالتی که تحلیل برای ۳ تاریخچه زمانی سازگار با ویژگی‌های ژئوتکنیکی لرزه‌ای ساختگاه صورت گیرد، پاسخ بیشینه هر کمیت تقاضای مورد نظر باید از مجموعه این سه تحلیل استخراج و برای طراحی به کار برده شود. در صورتی که تحلیل برای حداقل ۷ مجموعه تاریخچه زمانی حرکت زمین صورت گیرد، استفاده از میانگین مقادیر پاسخ کمیت مورد نظر حاصل از ۷ تحلیل مزبور برای پاسخ کمیت مورد نظر مجاز است.

در صورت عدم دسترسی به مشخصه‌های تاریخچه زمانی حرکت زمین ویژه ساختگاه می‌توان با استفاده از طیف طرح ویژه ساختگاه، تاریخچه‌های زمانی شتاب حرکت زمین را به صورت مصنوعی تولید نمود.

پاسخ حاصله از مؤلفه‌های متعامد زلزله باید به‌طور مستقیم از طریق اعمال همزمان مؤلفه‌های متعامد تاریخچه زمانی نگاشت‌های زمین لرزه‌های مورد نظر ملحوظ گردد.

۳-۲-۱۲-۴-۴- روش تحلیل استاتیکی غیر خطی

تحلیل استاتیکی غیرخطی (تک‌آهنگ) به منظور تعیین ظرفیت تغییرمکانی و الگو و شیوه رفتار غیرخطی مجموعه سازه فضاکار به کار برده می‌شود. بارگذاری در این حالت تحت کنترل تغییرمکان و معمولاً با اعمال تغییرمکان افزایشنده به صورت همساز با یکی از بردارهای مشخصه متناظر با یکی از مودهای اساسی سازه صورت می‌گیرد.

۳-۲-۱۲-۴-۵- روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی

تحلیل تقاضای لرزه‌ای مجموعه، زیرمجموعه‌ها، اعضا و اجزای سازه از طریق تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه با بهره‌گیری از چند تاریخچه زمانی موجود حرکت زمین و تا حد ممکن سازگار با شرایط منطقه‌ای و ساختگاهی یا میانگین‌گیری آنها تعیین می‌گردد. ظرفیت اعضا باید در مدل تحلیل غیرخطی سازه ملحوظ گردیده و بر آن اساس تقاضای نیرویی و تغییرمکانی محاسبه گردد.

این روش برای سازه‌های نامنظم با هندسه پیچیده و برای سازه‌هایی که مجهز به ادوات میراگر بوده یا رفتار غیرخطی از دیدگاه مصالح و یا هندسی از خود بروز می‌دهند، توصیه می‌گردد.

تحلیل براساس ویژگی‌های تاریخچه زمانی حرکت زمین صورت می‌گیرد. پاسخ مورد نظر در طراحی عبارت است از بیشینه مقادیر حاصل از اعمال مرجحاً ۷ (حداقل برای سازه‌های مهم) و حداقل ۳ تاریخچه زمانی با شرایط و ویژگی‌های قابل تطبیق با شرایط ساختگاه.

پاسخ ناشی از مؤلفه‌های متعامد زمین‌لرزه باید به‌طور مستقیم از طریق اعمال همزمان مؤلفه‌های متعامد تاریخچه زمانی نگاهت‌های زمین‌لرزه‌های مورد نظر ملحوظ گردد.

۳-۲-۱۲-۴-۶- روش ارتعاشات تصادفی

در این روش تاریخچه زمانی مصنوعی براساس دیدگاه‌های احتمال‌اندیشانه و مبانی نظری ارتعاشات تصادفی تعیین و سازه به روش تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی احتمال‌اندیشانه تحلیل می‌گردد.

۳-۳- ترکیب بارها

شیوه‌های ترکیب بارها و کنش‌های گوناگون مؤثر، در چارچوب احتمال وقوع آثار ترکیبی آنان، به قصد ارضای شرایط ایمنی و اهداف عملکردی تعیین می‌گردد. ضرایب پاره‌ای ترکیب انواع بارهای با احتمال وقوع همزمان باید از طریق روش‌های آماری و احتمالاتی تعیین گردد. سازه‌های فضاکار معمولاً تحت تأثیر حالات بارگذاری متنوعی در طول عمر مفید خود قرار می‌گیرند. کنش‌های مؤثر را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی کرد:

جدول ۳-۳ طبقه‌بندی کنش‌ها

| نمونه کنش‌ها | دسته‌بندی کنش‌ها |
|--|--|
| بار مرده، بار زنده، آثار ناشی از ضربه، رانش خاک، فشار مایعات، آثار ناشی از انفجار، | بارها |
| باد و طوفان، برف، زلزله، سیل و طغیان، ... | کنش‌های ناشی از آثار محیطی و ساختگاهی |
| آثار ناشی از نابه‌جایی، ناکاملی و نامیزانی، تغییرات دما، آثار ناشی از افت، انقباض، خزش، | کنش‌های ناشی از آثار قیود موجود و شرایط مرزی |

ضرایب پاره‌ای بارها به نحوی که در فصل چهارم این آیین‌نامه ارائه گردیده‌اند با ملحوظ‌داشتن این واقعیت تعیین شده‌اند که احتمال وقوع همزمان بارهای با منشأ متفاوت با مقادیر مشخصه آنان اندک می‌باشد. در حالت طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، به هر یک از آثار بارها، با ضریبی که به نحو احتمال‌اندیشانه میزان مشارکت همزمان آن بار را در نتایج کلی بیان می‌دارد، وزن داده می‌شود.

به طور کلی، احتمال اعمال همزمان ترکیبی از دو منشأ اعمال بار مستقل از یکدیگر بر سازه، کوچک‌تر از احتمال اعمال هر یک از آن دو عامل به صورت جداگانه می‌باشد. معذک، خواص آماری هر یک از بارها و کنش‌ها، باید مورد بررسی قرار داده شود. یکی از روش‌های رایج ترکیب بارها عبارت است از تخصیص ضرایب احتمالی پاره‌ای برای هر یک از کنش‌های متنوع مؤثر. همچنین نحوه پاسخ سازه به نوع به‌خصوصی از بارها یا ترکیب بارها نیز به همین میزان حایز اهمیت است.

در طراحی به روش حالات حدی، این امر به این گونه ملحوظ می‌گردد که هرگاه سازه‌ای تحت تأثیر دو نوع بارگذاری متفاوت قرارگیرد، که هر یک به طور مستقل دارای احتمال وقوع $P(a)$ و $P(b)$ باشند، احتمال اعمال همزمان این دو بار عبارت خواهد بود از:

$$P(a \cdot b) = P(a) \cdot P(b)$$

سطح خطر در تراز ایمنی، با اختیار دوره بازگشت طولانی‌تر و احتمال وقوع کمتر طی عمر مفید سازه، از سطح خطر در تراز بهره‌برداری متمایز می‌گردد.

۴

طراحی مجموعه سازه فضاکار

۴-۱- کلیات

۴-۱-۱- تعریف

طراحی سازه فضاکار شبکه‌ای فولادی، فرآیند پی در پی گزینش فرم سازه‌ای، اندازه‌ها، شرایط مرزی، مصالح، نوع اعضا و اجزا، شیوه هم‌بندی، نوع پوشاننده‌ها و اجزای غیرسازه‌ای، شیوه ساخت، بافت، نصب و دیگر موارد، و مطالعه رفتار هرگزینه در برابر کنش‌ها با توجه به معیارهای پذیرش و همچنین بررسی سازگاری آن با نیازهای عملکردی مورد نظر و جنبه‌های مدیریت نگهداری در دوره بهره‌برداری می‌باشد. در هر مرحله از این فرایند، مقایسه فنی و اقتصادی گزینه‌ها منجر به حذف برخی از گزینه‌ها و اصلاح برخی دیگر جهت تکرار روند مطالعاتی می‌باشد، تا برای هریک از گزینه‌ها، همگرایی مکفی تأمین شده و بررسی‌های فنی و اقتصادی اثبات نماید که گزینه نهایی (گزینه برتر) پاسخگوی بهینه تمامی معیارها خواهد بود. بنابراین بخشی از این فرآیند، شامل گزینش و بخش دیگر، شامل محاسبات و بررسی‌های عددی می‌باشد. با توجه به آنکه برای دستیابی به طرح بهینه لازم است تمامی گزینه‌های ذیربط مورد بررسی قرار گیرند و با توجه به تعدد گزینه‌های در خور مطالعه در طراحی یک سازه فضاکار، در اغلب موارد یافتن گزینه بهینه را، علیرغم در اختیار بودن رایانه‌های توانمند، نباید امری ساده تلقی کرد.

تفسیر - به‌طور معمول در مراحل اولیه طراحی سازه‌های فضاکار، گزینه‌های منطقی توسط مهندسان مجرب تعیین و تعریف می‌شوند. نقش مهندس مجرب آن خواهد بود که احتمال از قلم افتادن گزینه‌های مطلوب تا جای ممکن کاهش یابد و در عین حال، زمان به بهبودی صرف مطالعه گزینه‌های نامطلوب نگردد. پس از تعریف گزینه‌ها، بررسی و مقایسه آنها آغاز می‌شود و در طی مراحل بررسی که به ترتیب با افزایش دقت همراه است، از تعداد آنها کاسته می‌شود تا گزینه مطلوب به‌دست آید.

گزارش در برگیرنده مطالعات این مرحله باید نمایشگر منطق و شیوه انتخاب گزینه‌های مطالعه‌شده و معیارها و نحوه انتخاب گزینه برتر با ارایه استدلال‌ها قانع‌کننده باشد. در صورت تأیید کیفیت، کمیت و صحت مطالعات از سوی مرجع ذیصلاح، از این پس، مراحل طراحی تفصیلی گزینه برتر دنبال خواهد گردید.

در این فصل با توجه به دامنه شمول این آیین‌نامه، ابتدا به معرفی سیستم‌های سازه‌های فضاکار مبادرت شده و سپس با بررسی شیوه‌های ساخت و بافت و نصب، رهنمودهای لازم برای طراحی گزینه‌های سازه فضاکار به قصد ارضای نیازهای طرح ارایه خواهد شد. مجموعه فرایندهای مطالعاتی به شرح مندرج در فصل‌های چهارم تا ششم این آیین‌نامه، حاوی روش‌های طراحی مفهومی مجموعه سازه فضاکار و همچنین روش‌های مدل‌سازی و تحلیل و طراحی اولیه و تفصیلی این سازه‌ها خواهند بود.

تفسیر - مجموعه وسیعی از انواع فرم‌های سازه‌های فضاکار در پیوست ۱ این آیین‌نامه معرفی شده‌اند. همچنین برنامه فرم‌مین را می‌توان به عنوان ابزاری برای فرمیابی، فرم‌سازی و تهیه داده‌های مورد نیاز تحلیل در فرایند طراحی مجموعه سازه فضاکار به خدمت گرفت.

۴-۱-۲- سازه‌های فضاکار شبکه‌ای

سازه‌های فضاکار شبکه‌ای دارای انواع فراوانند که در بندهای ۴-۱-۲ تا ۴-۱-۳-۱۰ تشریح شده‌اند. نمونه‌هایی از این سازه‌ها در پیوست (۱- الف) این آیین‌نامه نشان داده شده‌اند. همچنین پیوست (۱- ب) آیین‌نامه دربرگیرنده برنامه‌های رایانه‌ای برای ایجاد همه سازه‌های پیوست (۱- الف) می‌باشد. این برنامه‌ها در محیط نرم‌افزار فرم‌مین نوشته شده‌اند. در ضمن منابع و مراجع لازم برای توضیح روش فرمول‌بندی چنین برنامه‌هایی در پیوست (۱- ب) ارایه شده است.

۴-۱-۲-۱- شبکه‌های تک‌لایه (تخت)

شبکه تک‌لایه از مجموعه‌ای از اعضای تشکیل شده که محورهایشان در یک صفحه قرار دارند و به صورت صلب به هم متصل شده‌اند. نمونه‌هایی از شبکه‌های تک‌لایه در شکل‌های شماره ۱ تا ۳۶ پیوست (۱- الف) نشان داده شده است.

۴-۱-۲-۲- شبکه‌های دولایه و چندلایه (تخت)

شبکه دولایه از زیر مجموعه‌های ذیل تشکیل شده است:

- یک لایه بالایی با اعضای متصل به هم،

- یک لایه پایینی با اعضای متصل به هم و

- اعضای جان که لایه بالایی و پایینی را به هم متصل می‌کنند.

شبکه‌های دولایه اغلب در حالت افقی طرح و اجرا می‌شوند، ولی می‌توان آنها را با هر درجه تمایلی نسبت به سطح افقی نیز طرح و اجرا نمود. نمونه‌هایی از شبکه‌های دولایه در شکل‌های شماره ۳۷ تا ۶۵ پیوست (۱- الف) نشان داده شده است. در این شکل‌ها، لایه بالا با خط کلفت‌تر و لایه پایین و جان با خط نازک‌تر نشان داده شده‌اند.

شبکه‌های چندلایه دارای بیش از دولایه می‌باشند. این شبکه‌ها از نظر ساختاری مانند شبکه‌های دولایه می‌باشند و لایه‌های این شبکه‌ها نیز توسط اعضای جان به یکدیگر متصل شده‌اند. همچنین ممکن است شبکه‌ای در قسمت‌هایی دارای دولایه بوده و در قسمت‌های دیگر از بیش از دولایه تشکیل شده باشد.

۴-۱-۲-۳- چلیک‌های شبکه‌ای

چلیک شبکه‌ای از مجموعه اعضای تشکیل شده که در یک‌لایه، دولایه و یا چندلایه پوششی دالان‌گونه ایجاد می‌کنند. چلیک می‌تواند استوانه‌ای، چنبره‌ای، زین‌اسبی و یا خم‌های باشد. نمونه‌هایی از انواع چلیک‌ها در شکل‌های شماره ۶۶ تا ۹۰ پیوست (۱- الف) نشان داده شده‌اند.

۴-۱-۲-۴- گنبدهای شبکه‌ای

گنبد شبکه‌ای از مجموعه اعضای در یک‌لایه، دولایه و یا چندلایه که پوششی کوژ ایجاد می‌کنند، تشکیل شده است. گنبدها دارای انواع فراوانی هستند مانند:

- گنبد دنده‌ای

- گنبد اشودلر

- گنبد لَمِلا

- گنبد دیامتیک

- گنبد اسکالپ

- گنبد پیازی

- گنبد گل ختمی

- گنبد فرازشی

- گنبد ژئودزیک

- گنبد نوانشی.

نمونه‌هایی از انواع گنبدها در شکل‌های شماره ۹۱ تا ۱۵۹ پیوست (۱-الف) نشان داده شده‌اند. شکل پلان گنبد می‌تواند دایروی، بیضوی، تخم‌مرغ‌گونه، چندبری و به صورت‌های دیگر باشد.

۴-۱-۲-۵- سهلوی‌های شبکه‌ای

واژه سهلوی مخفف "سهمی‌گون هذلولوی" می‌باشد. سهلوی شبکه‌ای از مجموعه اعضای در یک‌لایه، دولایه و یا چندلایه که پوششی زین‌اسب‌گونه ایجاد می‌کنند، تشکیل شده است. نمونه‌هایی از انواع سهلوی‌ها در شکل‌های شماره ۱۶۶ تا ۱۶۸ پیوست (۱-الف) نشان داده شده‌اند. از ترکیب سهلوی‌ها سازه‌های فراوانی را می‌توان ایجاد نمود که نمونه‌هایی از آنها در شکل‌های ۱۶۹ تا ۱۷۳ پیوست (۱-الف) نشان داده شده است. همچنین گنبدهای گل ختمی نشان داده شده در شکل‌های ۱۲۴ تا ۱۲۹ پیوست (۱-الف)، از پاره‌های سهلوی ایجاد شده است.

۴-۱-۲-۶- هرم‌های شبکه‌ای

هرم شبکه‌ای از مجموعه اعضای در یک‌لایه، دولایه و یا چندلایه تشکیل شده که به حالت هرم شکل گرفته‌اند. قاعده این هرم می‌تواند مثلثی، چهاربری و یا چندبری باشد. نمونه‌هایی از هرم‌های شبکه‌ای در شکل‌های شماره ۱۷۴ تا ۱۸۳ پیوست (۱-الف) نشان داده شده است.

۴-۱-۲-۷- برج‌های شبکه‌ای

برج شبکه‌ای از مجموعه اعضای در یک‌لایه، دولایه و یا چندلایه تشکیل شده که به‌حالتی برج‌گونه شکل گرفته‌اند. نمونه‌هایی از برج‌های شبکه‌ای در شکل‌های شماره ۱۹۳ تا ۱۹۷ پیوست (۱-الف) نشان داده شده‌اند.

۴-۱-۲-۸- سازه‌های فضاکار تاشو

سازه فضاکار تاشو از مجموعه اعضا و اتصالاتی تشکیل شده‌است که قابلیت تاشدن و بازشدن دارند. نمونه‌هایی از چنین سازه‌هایی در شکل‌های شماره ۱۹۸ تا ۲۰۰ پیوست (۱-الف) نشان داده شده‌اند.

۴-۱-۲-۹- سازه‌های فضاکار شبکه‌ای مرکب

سازه فضاکار شبکه‌ای مرکب از ترکیب دو یا چند سازه فضاکار از یک نوع و یا انواع متفاوت شبکه‌ای تشکیل می‌شود. نمونه‌هایی از شبکه‌های دولایه مرکب در شکل‌های شماره ۶۴ و ۶۵ نمونه‌هایی از چلیک‌های مرکب در شکل‌های شماره ۷۲، ۷۳، ۷۹ و ۸۱، نمونه‌هایی از چلیک-گنبدها در شکل‌های ۱۶۰ تا ۱۶۵ و نمونه‌هایی از سهلوی‌های مرکب در شکل‌های ۱۶۹ تا ۱۷۳ پیوست (۱-الف) نمایش داده شده‌اند.

۴-۱-۲-۱۰- سازه‌های فضاکار شبکه‌ای با شکل آزاد

سازه فضاکار شبکه‌ای با شکل آزاد از مجموعه اعضای تشکیل شده است که به صورتی نامنظم شکل یافته‌اند. چنین سازه‌ای می‌تواند با تغییر و یا ترکیب شکل‌های متعارف منظم به دست آید. نمونه‌هایی از چنین سازه‌هایی در شکل‌های شماره ۱۸۴ تا ۱۹۲ پیوست (۱- الف) نشان داده شده‌اند.

۴-۲- طراحی مجموعه سازه فضاکار

۴-۲-۱- مبانی طراحی مجموعه سازه فضاکار

در مرحله طراحی مجموعه سازه فضاکار، در مورد کلیات فرم سازه، سیستم سازه‌ای و تکیه‌گاهی (شامل پی، پایه‌ها، دستگاه‌های تکیه‌گاهی) با رعایت اصول ایمنی، عملکردی، زیباشناختی و دیدگاه‌های اقتصاد مهندسی و با توجه به کنش‌های مؤثر بر سازه فضاکار و اهداف کاربری و عمر مفید اتخاذ تصمیم می‌گردد. به این منظور لازم است انواع گزینه‌های زیربط از نظر فرم هندسی، نوع مصالح، سیستم سازه‌ای، ملزومات عملکردی، شیوه ساخت، بافت و نصب، هزینه‌های اولیه احداث، هزینه‌های نگهداری در دوره بهره‌برداری، کیفیت بهره‌برداری، سهولت یا صعوبت نگهداری و دیگر موارد، مورد بررسی فنی و اقتصادی قرار گرفته و گزینه یا تعداد معدودی گزینه برتر اختیار گردد. فرم معماری آنگاه که در خدمت محتوای سازه ای آن قرار گیرد، به ارضای ملزومات مذکور در فوق انجامیده، به طرح توفیق آمیزی بدل می‌گردد. بنابراین همکاری نزدیک گروه‌های کاری معماری و مهندسی (سازه، ژئوتکنیک، تأسیسات، محیط زیست) از ابتدای طراحی مجموعه یک سازه فضاکار، از مرحله بررسی‌های امکان‌سنجی و توجیهی تا مراحل طراحی مجموعه سازه فضاکار مورد نیاز خواهد بود. به عبارت دیگر فرم سازه فضاکار اغلب فرم ظاهری پروژه را نیز معرفی می‌نماید.

به منظور توفیق در طراحی مجموعه سازه فضاکار، لازم است گروه طراحی با امکانات قابل حصول از نظر تجهیزات ساختمانی، تکنولوژی ساخت، شیوه‌ها و قابلیت‌های تولید صنعتی کارخانه‌ای و شیوه‌های عملیات اجرایی کارگاهی و اصول مدیریت ساخت آشنایی کامل داشته و طراحی را منطبق با شیوه ساخت و با در نظر گرفتن و تأمین شرایط پایداری زیرمجموعه‌ها در طول فرایند بافت و نصب به انجام رساند.

به‌طور معمول طراح سازه فضاکار باید در این مرحله در مورد نوع و سیستم اعضا و پیوندها و اتصالات و واحدهای نمونه اتخاذ تصمیم نماید و طراحی را منطبق با امکانات قابل حصول به نتیجه رساند. در این مرحله از طراحی باید از کفایت مطالعات در مورد تمامی جنبه‌های فنی و اقتصادی طرح به‌منظور امکان برگزیدن تعداد محدودی گزینه زیربط برای مطالعات مرحله اول تا انتخاب گزینه برتر و مطالعات بعدی در زمینه طراحی تفصیلی گزینه برتر اطمینان حاصل گردد. به عبارت دیگر لازم است تصمیمات اساسی در مورد آنچه در مطالعات طراحی تفصیلی مورد نیاز است، شامل جزییات فرم، هم‌بندی و شبکه‌بندی، مدل‌سازی، تحلیل، طراحی اعضا، پیوندها، اجزا و جزییات اجرایی و تدوین مشخصات فنی طرح و ساخت اتخاذ گردد.

تمامی سازه‌ها و به ویژه سازه‌های فضاکار عظیم باید از دیدگاه زیباشناختی و تأثیرگذاری بر محیط مصنوع و طبیعی پیرامون ساختمان مورد بررسی قرار گیرند و برای دستیابی به فرم فضایی بدیع کوشش به عمل آید.

علاوه بر مباحث مذکور در فوق، لازم است جنبه‌های تأسیساتی، مکانیکی و الکتریکی (تبادل حرارتی، تهویه، نورپردازی)، خواص آکوستیک مجموعه، سیستم‌های حفاظتی در مقابل آتش‌سوزی (هشدار، اطفاء و حفاظت)، اجزای گرم‌کننده پوشانه‌ها برای ممانعت از

انباشت برف و شیوه‌های دسترسی به اعضا و اجزای سازه فضاکار و تمهیدات تأسیساتی در مراحل بهره‌برداری و نگهداری و غیره از دیدگاه‌های فنی و اقتصادی به دقت مورد مطالعه قرار داده شده و در مورد آنها گزینه‌های مرتبط مورد توجه قرار داده شوند. همچنین در مرحله طراحی مجموعه لازم است در مورد نوع نماها و روسازی درونی، پوشانه‌های بام، دیواره‌ها، کف‌های سازه و پوشانه‌های درونی و بیرونی و سقف‌ها و کف‌های کاذب بررسی و اتخاذ تصمیم گردد.

طراحی سازه فضاکار را می‌توان به قصد کاهش مسایل و مشکلات و هزینه‌های مربوط به دوره بهره‌برداری و نگهداری ساماندهی نمود.

۴-۲-۲- مفاهیم طراحی مجموعه سازه فضاکار

در طراحی مجموعه سازه‌های فضاکار شبکه‌ای موارد زیر را می‌توان به عنوان راهنما مدنظر قرار داد:

بر طراحی مجموعه سازه فضاکار به صورت مجموعه‌ای از مدول‌ها یا واحدهای تکرارشونده و حتی‌المقدور ساده و در خور پیش‌سازی و تولید انبوه، در ابعاد و اشکال استاندارد شده، مزایای متعددی از نظر سهولت ساخت، نصب، سرعت اجرا و کاهش هزینه‌ها مترتب است. اگرچه گاه طراح به دلایل قابل دفاعی ممکن است از سیستم‌های ساخت درجا بهره‌گیری نماید.

با توجه به آنکه عملکرد سه بعدی فضاکار این سازه‌ها منجر به ایجاد قابلیت باربری در تمامی جهات و کاهش وزن مرده سازه در مقایسه با سیستم‌های سنتی می‌گردند، سازه‌های فضاکار به‌طور معمول نسبتاً سبک و در عین حال دارای صلبیت قابل ملاحظه‌ای می‌باشند. علاوه بر آن، با توجه به درجه نامعینی قابل ملاحظه، اغلب سازه‌های فضاکار شبکه‌ای، در اغلب موارد به علت وجود مسیرهای ثانویه انتقال بارها، مقاومت مطلوبی در مقابل گسیختگی زنجیره‌وار پیش‌رونده از خود نشان می‌دهند.

به‌ویژه در مورد سازه‌های فضاکار ابنیه‌ای که در آنها عملکرد معماری ایجاب می‌نماید که دهانه‌های آزاد و نسبتاً بزرگ در دو امتداد متعامد در پلان تأمین گردد، سازه‌های سنتی متشکل از تیرها و خرپاهای یک‌جهته در این چنین کاربردهایی سازه‌های نامطلوبی از جنبه‌های فنی و اقتصادی محسوب می‌گردند و از دیدگاه پایداری و رفتار سازه‌ای از یک‌سو و به لحاظ سنگینی وزن مرده، با به‌کارگیری چنین سازه‌هایی، نیات عملکردی، ایمنی و اقتصادی، به‌نحو مطلوبی برآورده نخواهد شد. در این حالت بهره‌گیری از سازه‌های فضاکار با فرم مناسب به‌منظور افزایش صلبیت، افزایش پایداری و ایمنی، ارتقای قابلیت اعتماد، سبک‌سازی وزن مرده و در نتیجه قابلیت افزایش دهانه‌های آزاد و در عین حال، صرفه‌جویی در مصالح و در نتیجه تخریب کمتر محیط زیست، در واقع از ضرورت‌های بنیادین تلقی می‌گردند.

سازه‌های فضاکار امکان عمده‌ای به مهندسان و معماران برای تلفیق اصول زیباشناسی و ابداعات بدیع با تضمین عملکرد مورد نظر به‌دست می‌دهند. در این حالت، فلسفه حاکم بر فرایند طراحی مبتنی بر فرم‌شناسی سازه‌ای و به مفهوم به‌کارگرفتن فرم معماری در خدمت محتوای سازه‌ای با توجه به این واقعیت است که سازه و معماری مفاهیم تفکیک‌پذیری نخواهند بود.

۴-۲-۱- شبکه‌بندی ساختاری

شبکه‌بندی یا استخوان‌بندی ساختاری سازه فضاکار به‌طور معمول از دو طریق تشکیل می‌شود:
 - شبکه‌های متشکل از اعضا و گره‌ها،
 - شبکه‌های متشکل از واحدهای شاخص، که خود شامل اعضا و اجزای کوچک‌تر می‌باشند.

۴-۲-۲- شبکه‌های تک‌لایه

در سیستم‌های متشکل از اعضا در شبکه‌های تک‌لایه، اعضا در راستاهای مورد نظر در فضا قرار گرفته و فرم رویه سازه را ایجاد می‌نمایند. در شبکه‌های صفحه‌ای تک‌لایه، اعضا در دو یا سه راه قرار گرفته و رفتار عمدتاً خمشی - برشی - پیچشی از خود بروز می‌دهند.

۴-۲-۳- شبکه‌های دو یا چندلایه

در حالت‌های کلی متداول، سیستم‌های واحدی تشکیل‌دهنده شبکه‌های فضاکار دو یا سه لایه می‌باشند که در آن‌ها لایه‌های فوقانی، تحتانی و میانی توسط اعضای جان به‌یکدیگر متصل می‌گردند. در این حالات به‌طور معمول ویژگی‌های واحدهای بنیادین بر مشخصه‌های سازه مانند سختی، مقاومت، شکل‌پذیری و سایر ویژگی‌های آن تأثیر عمده خواهند داشت.

در مورد شبکه‌های تخت دولایه در پوشانه‌های ساختمان‌ها، امکانات پیش‌روی طراح سازه فضاکار با توجه به وضعیت و موقعیت و نوع پایه‌ها در اغلب موارد متنوع خواهد بود. گاه از شبکه‌های عمدتاً هم‌سیستم با جابه‌جایی در پلان به عنوان شبکه‌های فوقانی و تحتانی بهره‌گیری می‌شود و گاه شبکه‌های فوقانی و تحتانی در الگویی کاملاً متفاوت طراحی می‌شوند، به نحوی که با اتصال آنها با اعضای جان متصل‌کننده شبکه‌های مزبور، واحدهای منظم و تکرارشونده ایجاد می‌گردند.

در طراحی پیوندها در هر دو نوع شبکه مذکور در فوق، به‌طور معمول باید در مورد میزان سختی (یا انعطاف‌پذیری) پیوندها اتخاذ تصمیم نمود و متناسباً محاسبات فنی و طراحی پیونده را انجام داد. طراحی پیوندها باید به منظور سهولت ساخت و نصب، محدودیت امکان بروز برون محوری و تأمین رواداری‌های اجرایی لازم صورت گیرد. همچنین طراح باید به قصد سهولت نگهداری، پیوندها و اتصالات را طراحی نماید. پیوندها و اتصالات در واقع منطق سیستم سازه فضاکار را معرفی می‌نمایند.

در مورد پیوندها قابلیت‌پذیرش تعداد قابل ملاحظه‌ای عضو در زوایای فضایی گوناگون امتیازی عمومی تلقی می‌شود. همچنین ابعاد پیوندها، ادوات اتصال و اعضا باید متناسب با زوایای فضایی و ابعاد اعضا انتخاب شوند.

به‌طور معمول پیوندهای کروی (گوی‌سان) یا چندوجهی چنین نیازهایی را پاسخ می‌گویند. در اغلب موارد ۳ نوع پیونده گوی‌سان به‌طور متداول به‌کارگرفته شده‌اند: (الف) - پیوندهای کروی یا چند وجهی توپر با سوراخ‌های حدیده‌شده برای پذیرش پیچ‌های اتصال عضو به پیونده. (ب) - پیوندهای کروی توخالی با سوراخ‌های حدیده شده. (ج) - پیوندهای کروی تو خالی با سوراخ‌های حدیده نشده با ناحیه‌ای باز برای ایجاد امکان عبور پیچ اتصال.

۴-۲-۲-۴- چلیک‌ها و گنبدها

در مورد چلیک‌ها و گنبدهای فضاکار، اگرچه بهره‌گیری از سیستم ضلع و گرهی (پیوندهای) یا واحدی پیش‌ساخته متداول است، ولی باید توجه داشت که در اینجا تنوع در ابعاد اعضا می‌تواند قابل ملاحظه باشد. در ارتباط با شبکه‌بندی گنبدهای شبکه‌ای مهاربندی‌شده، در بسیاری از موارد با رعایت جنبه‌های عملی و اجرایی، بهره‌گیری از نزدیک‌ترین چندوجهی محاطی یا محیطی سطح مورد نظر، حایز اهمیت است.

در این حالات اغلب فرم‌شناسی سازه‌ای، فرمیابی و فرم‌سازی بخشی از فرایند بهینه‌یابی در روند طراحی سازه‌های فضاکار به‌شمار می‌روند. در مواردی که سازه فضاکار شبکه‌ای تخت دولایه به عنوان سازه کف طبقات ساختمان‌های چندطبقه با دهانه‌های متنوع به کار گرفته می‌شود یا سازه شبکه‌ای فضاکار به‌عنوان پایه‌های برج‌گونه یا دیوارهای فضاکار برای تکیه‌گاه سازه‌های فضاکار به کار برده می‌شوند، به‌طور معمول انتخاب موقعیت و فرم و ابعاد هندسی شبکه فضاکار پایه باید به‌نحوی در هماهنگی با شبکه فضاکار سقف باشد تا موقعیت گره‌های مشترک همساز گردند.

در مورد بسیاری از گنبدها و چلیک‌ها در صورت وجود فضای کافی می‌توان قوس چلیک و همچنین گنبد فضاکار را به‌طور مستقیم و بدون واسطه پایه یا دیواره بر شالوده استوار ساخت.

۴-۲-۳-۴- قیاس به صفحه یا پوسته معادل

در این روش، سازه فضاکار شبکه‌ای به صفحه یا پوسته (یا محیط پیوسته) معادل با رفتار شناخته‌شده تشبیه می‌شود که دارای خواص ایزوتروپیک یا ارتوتروپیک خواهد بود. بهره‌گیری از مفاهیم معادل‌سازی تقریبی شبکه‌های فضاکار با محیط پیوسته معادل، از آن جهت که رفتار کلی سازه فضاکار را براساس رفتار شناخته‌شده سازه‌های صفحه‌ای و پوسته‌ای معادل برای مطالعات اولیه امکان‌پذیر می‌سازد، در مراحل بررسی‌های اولیه قابل کاربرد خواهد بود.

بسته به نوع واحدهای بنیادین، در مورد شبکه‌های فضاکار تک‌لایه و دولایه، سازه فضاکار می‌تواند دارای خواص ایزوتروپیک یا ارتوتروپیک باشد.

۴-۲-۴- سازه فضاکار در مقایسه با سایر سیستم‌های سازه‌ای

طراح سازه فضاکار باید قانع شده باشد که برای کاربری مورد نظر پروژه، در قیاس با سایر انواع سیستم‌های سازه‌ای، سازه فضاکار گزینه برتر خواهد بود. به این منظور باید انواع دیگر گزینه‌های ذیربط را مورد بررسی قرار داد و با گزینه‌های ذیربط از نوع سازه فضاکار شبکه‌ای، از جنبه‌های گوناگون و از دیدگاه فنی و اقتصادی مقایسه نمود تا از کاربرد به‌جای سازه فضاکار برای پروژه مورد نظر اطمینان حاصل شود. در اغلب موارد برای سازه‌های با دهانه‌های آزاد قابل ملاحظه، سازه فضاکار از سازه پوسته‌ای نظیر خود به مراتب سبک‌تر خواهد بود و با قابلیت تولید پیش‌ساخته صنعتی، در صورت به‌کارگیری این شیوه، اغلب صرفه اقتصادی نیز تأمین خواهد شد. از سوی دیگر، نصب و بافت سریع سازه‌های فضاکار، زمان به مراتب کمتری از طراحی قالب‌ها، قالب‌سازی، قالب‌بندی، آرماتوربندی، جادادن و مراقبت و عمل آوردن بتن را طلب می‌نماید.

۴-۲-۵- تحلیل میزان حساسیت به تغییرات پارامترهای مؤثر در طرح

در طراحی سازه‌های فضاکار، چگالی شبکه، نسبت ارتفاع شبکه به طول دهانه‌ها و علاوه بر آن در مورد سازه‌های فضاکار چلیکی یا گنبدی، نسبت خیز به دهانه باید به نحوی انتخاب شوند که تحت تأثیر کنش‌های مسلط، پاسخ مطلوب سازه به معنی ارضای تمامی معیارهای پذیرش حاصل گردد. به منظور نیل به نتایج مطلوب، لازم است تحلیل میزان حساسیت به تغییرات پارامترهای مؤثر در طرح به عمل آید. در این ارتباط، به موارد مندرج در بندهای ذیل در این فصل در زمینه بهینه‌یابی فرم سازه مراجعه شود.

۴-۲-۶- روش‌های طراحی فرم هندسی مجموعه سازه فضاکار

طراحی مجموعه سازه‌های فضاکار شبکه‌ای را می‌توان از کل به جزء یا از جزء به کل به عمل آورد.

۴-۲-۶-۱- طراحی سازه فضاکار شبکه‌ای از کل به جزء

طراحی سازه فضاکار شبکه‌ای از کل به جزء به مفهوم اختیار فرم کلی سازه و تقسیم‌بندی آن به واحدهای شبکه‌ای یا اعضایی است که به‌طور معمول و ترجیحی تکرارشونده بوده و فرم کلی سازه را به صورت شبکه‌ای ارایه می‌نمایند. طراحی از کل به جزء به ویژه در صورت امکان بهره‌گیری از واحدهای تکرارشونده با تنوع محدود در بخش اعظم سازه، ضمن ایجاد فرم هندسی مورد نظر، مزایای تولید انبوه صنعتی را نیز دربر خواهد داشت. در حالت طراحی از کل به جزء، احتمال دارد در حوالی تکیه‌گاه‌ها، به منظور ارضای شرایط سرحدی، نیاز به تغییراتی در واحدها یا اعضای سازه وجود داشته باشد. تقسیم‌بندی فرم کلی به اعضا و واحدهای کوچک‌تر، باید به نحو منطقی و معقولی صورت گیرد تا حتی‌المقدور، از واحدهای یکسان استفاده شود.

روش تقسیم‌بندی از کل به جزء برای فرم‌های با سطوح نمادین از نوع تخت، استوانه‌ای، مخروطی و کروی (چندوجهی) به سادگی صورت می‌پذیرد. نحوه هم‌بندی اعضا و واحدهای شاخص در مورد سطوح بغرنج یا دارای انحنا مضاعف به‌طور طبیعی پیچیده‌تر خواهد بود.

۴-۲-۶-۲- طراحی سازه فضاکار شبکه‌ای از جزء به کل

در طراحی از جزء به کل، واحدهای مبنا اختیار و با هم‌بندی آنان به منظور ارضای ملزومات طرح، فرم هندسی مجموعه سازه فضاکار حاصل می‌گردد.

در حالت طراحی از جزء به کل، در مواردی که فرم اولیه هندسی پیچیده است، ممکن است نتوان به‌طور دقیق با سرهم‌بندی واحدهای شاخص اولیه، به فرم مورد نظر دست یافت ولی در اغلب موارد می‌توان با تنوع محدودی از واحدهای تکرارشونده، برای ارضای ملزومات طرح، به میزان کافی به آن نزدیک شد. ایجاد یک سطح پیچیده با چنین واحدهایی گاه امکان‌پذیر نخواهد بود، ولی در عوض با سرهم‌بندی واحدهای مدوله ممکن است به فرم‌هایی دست یافت که از پیش تعیین نشده‌اند.

۴-۲-۷- عوامل مؤثر بر سختی و مقاومت

ترتیب استقرار اعضا و اجزا و واحدهای سازه فضاکار، سیستم سازه اسکلتی (شبکه‌ای) فضاکار را تشکیل می‌دهد. خواص و رفتار سازه فضاکار طبعاً وابستگی زیادی به خواص واحدهای پایه تشکیل‌دهنده آن و اتصالات این اعضا و واحدها به یکدیگر و نحوه هم‌بندی آنان خواهد داشت.

سختی، مقاومت و سایر خواص سازه وابسته به عوامل چندی از جمله فرم هندسی سازه، خواص مصالح، نحوه هم‌بندی اعضا و واحدها، ویژگی‌های شبکه‌بندی، نوع و رفتار پیوندها، اجزاء ادوات و نوع اتصالات، رفتار اعضا، تعداد لایه‌ها و تواتر (یا چگالی) شبکه، خواهند بود.

۴-۲-۸- خرپاهای فضاکار

خرپاهای فضاکار حالت خاصی از سازه‌های فضاکار می‌باشند که از هم‌بندی اعضای خطی مستوی به صورتی پایدار تشکیل شده باشند. در مورد خرپاهای فضاکار نیروهای درونی در اعضا به‌طور عمده از نوع محوری (بدون ملحوظداشتن اثر خمشی ناشی از وزن اعضا یا بارهای متمرکز احتمالی) خواهند بود.

اعضای سازه فضاکار شبکه‌ای را مرجحاً به صورت مستوی و در مواردی که توجیه‌پذیر باشد، می‌توان به‌صورت اعضای خطی دارای انحنا اختیار نمود.

۴-۲-۹- نوع هم‌بندی

ترتیب هم‌بندی اعضای یک شبکه فضاکار یا به صورت هم‌بندی ضلع و گرهی (پیوندهای) یا از اتصال واحدها یا زیرمجموعه‌هایی از سازه (پاره‌سازه‌ها) صورت می‌پذیرد. در سیستم‌های واحدی یا پاره‌سازه‌ای، در اغلب موارد، هر زیرمجموعه به‌خودی خود از هم‌بندی چند یا چندین ضلع و گره ایجاد می‌گردد.

در سیستم‌های ضلع و گرهی در اغلب موارد اتصال عضو به گره به صورت مستقل صورت می‌گیرد.

۴-۲-۱۰- مقاطع و کارایی اعضا

به دلیل کارایی تحت فشار محوری، استفاده از اعضای لوله‌ای با مقطع دایروی استفاده گسترده‌ای در خرپاهای فضاکار داشته است ولی از سایر مقاطع ساختمانی نیز بسته به مورد و نوع عملکرد عضو و جزئیات طراحی می‌توان استفاده نمود.

۴-۲-۱۱- پیوندها و اتصالات

به‌طور معمول با توجه به وظایف پیوندها و اتصالات در سازه فضاکار، شیوه انتقال تنش‌ها از طریق پیوندها پیچیده بوده در مواردی که اطلاعات مکفی در مورد رفتار آنها موجود نباشد، مطالعات تحلیلی و طراحی به کمک آزمایش باید مورد توجه قرار گیرد. با توجه به اهمیت پیوندها، نوع اتصال اغلب سیستم‌های تجاری، نقطه عطف سیستم به‌شمار رفته و به ثبت رسانده می‌شوند. اجزای اتصالات و پیوندهای فولادی را می‌توان از فولاد تراش داده شده، فرم داده شده در حرارت بالا، پرس شده یا فولاد ریخته‌گری با مصالح مناسب ساخت. اتصالات سازه‌های فضاکار، اغلب با ادوات اتصال پیچی یا از طریق جوش صورت می‌گیرد.

نوع رفتار پیوندها، میزان انعطاف‌پذیری اتصالات، ممتد بودن یا غیرممتد بودن اعضا اهمیت قابل ملاحظه‌ای در رفتار مجموعه سازه فضاکار خواهند داشت و باید در مدل‌سازی و تحلیل به نحو واقع‌گرایانه‌ای ملحوظ گردند. همچنین میزان انعطاف‌پذیری یا میزان‌گیرداری اتصالات، در ظرفیت مقاومتی اعضا در مقابل خمش و همچنین طول مؤثر و مقاومت کمانشی اعضا حایز اهمیت می‌باشد.

۴-۲-۱۲- رواداری‌های ساخت، بافت و نصب

دقت در ساخت اجزا و قطعات، پیوندها و اعضا و واحدهای نمونه سازه فضاکار حایز اهمیت است و اغلب برای سازه‌های فضاکار پوشش فضا‌های وسیع، نیاز به رعایت رواداری‌های محدودتری از اعضا و اجزای سازه‌های متعارف ساختمانی خواهد بود.

۴-۲-۱۳- ابزار طراحی

در ارتباط با فرم‌یابی و فرم‌سازی، تحلیل و طراحی و بهینه‌یابی سازه‌های فضاکار، امروزه امکانات قابل توجهی در دسترس است که این امر را تسهیل نموده و امکان بررسی فرم‌های تازه و آرایه شکل‌های بدیع را میسر می‌سازد. به این ترتیب، بهره‌گیری از جبرفرمکسی و برنامه فرم‌یاب، روش‌های تولید اطلاعات مربوط به هم‌بندی و ویژگی‌های هندسی و پیش‌پردازش داده‌ها، ابزار تحلیل ماتریسی و اجزای محدود سازه‌ها و ابزار پردازش نتایج، به‌ویژه به شیوه‌های ترسیمی، تصویری و گرافیک در حال حاضر از ابزار لاینفک طراحی سازه‌های فضاکار به‌شمار می‌روند.

۴-۲-۱۴- رفتار سازه‌ای و عملکرد معماری سازه فضاکار

رفتار سازه‌ای و عملکرد معماری سازه فضاکار به‌طور عمده تحت تأثیر عوامل زیر می‌باشد:

- فرم سازه
- سیستم هم‌بندی
- خواص مصالح سازه
- نوع اتصالات

۴-۲-۱۵- فرم‌یابی

به‌طور معمول در طراحی سازه فضاکار گزینه‌های کلی و اولیه و قابل تصور برای رویه‌هایی که ارض‌کننده نیازهای عملکردی و شرایط سرحدی باشند، مورد بررسی قرار می‌گیرند و کوشش می‌گردد شبکه‌بندی با تطابق دادن مجموعه اعضا و پیوندها یا واحدهای بنیادین یا مدول‌ها و پاره‌سازه‌ها صورت گیرد تا به فرم‌های مربوط به میزان مطلوبی نزدیک شود. در اغلب موارد گزینه‌ها بی‌شمارند و این به معنی آزادی عمل طراحان و در عین حال دشواری انتخاب گزینه برتر از میان گزینه‌های متعدد ذیربط خواهد بود.

۴-۲-۱۵-۱- دسته‌بندی رویه‌های سازه‌های فضاکار

گروه‌بندی زیر برای رویه‌های متنوعی که برای سازه‌های فضاکار با ویژگی‌های هندسی گوناگون متصورند، به‌هیچ روی به مفهوم و منظور ایجاد محدودیت نبوده؛ بلکه از دیدگاه ایجاد انتظام در ذهن طراح و در عین حال مطرح کردن برخی از امکانات پیش روی طراح به شرح زیر ارایه شده‌اند.

الف - رویه‌های گوسی

از دیدگاه انحنای گوسی رویه‌ها را به حالت‌های زیر دسته‌بندی می‌نمایند:

الف-۱- انحنای گوسی مثبت (مانند گره، پارابولای بیضوی)

الف-۲- انحنای گوسی صفر (مانند استوانه، مخروط، صفحات تخت)

الف-۳- انحنای گوسی منفی (مانند پارابولای هیپربولیک هذلولی شکل)

الف-۴- انحنای گوسی متغیر (مانند رویه‌های موجدار)

ب - رویه‌های دیگری که با روابط ریاضی تعریف می‌شوند

این رویه‌ها اغلب به صورت توابع چند جمله‌ای درجه سوم به بالا تعریف می‌گردند. ضرایب چند جمله‌ای‌ها اغلب با ارضای شرایط سرحدی و انتخاب چند نقطه هادی ارضاکننده نیازهای عملکرد معماری و تبیین‌کننده فرم کلی سازه فضاکار تعیین می‌گردند.

پ - رویه‌هایی که به روش‌های تجربی تعیین می‌گردند

این رویه‌ها به طرق گوناگون قابل تولید می‌باشند، از جمله: غشا ایجادشده از طریق حباب آب و صابون، غشاهای نازک از مصالح ارتجاعی، شبکه‌های ساخته‌شده از اعضای کشسان یا سیم‌های متقاطع و نظایر آن. در این فرآیند برای دستیابی به فرم رویه‌ای که ارضاکننده نیازهای عملکردی و رفتاری طرح باشد، با قضاوت از دیدگاه‌های تخصصی و زیباشناختی و جهت نیل به فرم دلخواه و منطقی پی‌جویی به‌عمل خواهد آمد.

۴-۲-۱۶- بهینه‌یابی

بهینه‌یابی سازه فضاکار از آن جهت حایز اهمیت است که با کاهش وزن مرده سازه، علاوه بر صرفه‌جویی در مصالح و تخریب کمتر در محیط زیست، امکان افزایش دهانه‌های آزاد برای رفع نیازهای جوامع متحول فراهم خواهد گردید. در عین حال کاهش جرم به‌طور معمول از نظر رفتار لرزه‌ای نیز مطلوب تلقی می‌گردد.

هدف از بهینه‌یابی، دستیابی به مقدار یا مقادیر حدی (حداقل یا حداکثر) یک تابع هدف، با ارضای قیود تعریف‌شده‌ای می‌باشد که در آن در اغلب موارد این تابع برحسب بردار متغیرهای حایز اهمیت در فرآیند بهینه‌یابی تعریف می‌گردد. قیود مورد اشاره در فوق، خود نیز به صورت توابعی از همان بردار متغیرها نمایش داده می‌شوند. توابع هدف و قیود می‌توانند خطی یا غیرخطی اختیار شوند که به ترتیب با روش‌های برنامه‌ریزی خطی یا غیرخطی مورد بررسی قرار می‌گیرند. از موارد حایز اهمیت در بهینه‌یابی سازه‌های فضاکار حداقل‌سازی وزن می‌باشد که علاوه بر هزینه، مزایای دیگری از قبیل کاهش جرم و نیروهای اینرسی، امکان افزایش دهانه، نیاز به امکانات و تجهیزات کم ظرفیت‌تر برای حمل و نصب خواهد داشت. از موارد دیگر، بیشینه‌سازی سختی سیستم یا بهینه‌یابی هزینه‌های کل احداث و همچنین بهره‌برداری و نگهداری در عمر مفید سازه را می‌توان مورد اشاره قرار داد. در هر حالت، قیودی بر بهینه‌یابی مترتب خواهند بود.

در طراحی سازه‌های فضاکار، اغلب اعضا از مجموعه مفصلی از مقاطع موجود در استانداردها یا در بازار یا تولیدات کارخانه سازنده انتخاب می‌شوند. بنابراین، روش برنامه‌ریزی ریاضی از این جنبه منفصل خواهد بود؛ بنابراین به‌طور معمول توابع پیوسته‌ای مانند تغییرمکان‌ها و تنش‌های سازه اغلب به روش انفصال یافته ایده‌آل‌سازی می‌گردند.

به‌طور معمول در فرایند کاربردی بهینه‌یابی به دلیل پیچیدگی‌ها در تعریف توابع هدف، به ویژه در مواردی که تعداد متغیرها زیاد باشد، و همچنین عدم نیل به نتایج عملی در بهینه‌یابی ریاضی، از روش‌های نیمه آنالیتیک بهره‌گیری می‌شود. در این روش‌ها تعداد قابل ملاحظه معادلات جبری تعادل با تعداد محدودی معادلات دیفرانسیل جایگزین می‌گردند. این روش برای سیستم‌های سازه فضاکار متشکل از اعضا و واحدهای منظم تکرارشونده به نتایج مطلوبی رسیده است.

در روش‌های مبتنی بر قضاوت مهندسی، برای دستیابی به طرح منطقی، توجیه‌پذیر و قابل دفاع از جنبه‌های موردنظر، از روش تکرار فرایند چرخه‌ای طراحی - تحلیل مجدد - اصلاح طرح - کنترل، تا نیل به مرحله‌ای از طراحی که در گام‌های تکرار این فرایند چرخه‌ای، وزن کل سازه تغییری کمتر از مقدار معینی یابد، بهره‌گیری می‌شود تا برای فرم هندسی مشخص و شبکه‌بندی و هم‌بندی معین، کار به انتخاب مطلوبی از مقاطع اعضا منتهی شود.

همین فرایند را می‌توان برای فرم‌های متفاوت از پیش‌تعیین شده اعمال نمود و به طرح بهینه‌ای از مجموعه سازه فضاکار نزدیک شد.

همچنین از روش‌های مبتنی بر صفحه یا پوسته معادل شبکه فضاکار نیز در بهینه‌یابی بهره‌گیری شده است. در این روش، با تغییر چگالی و شبکه‌بندی سازه فضاکار، صفحه یا پوسته معادل آن اختیار و بهینه‌یابی با رعایت قیود متناسب برای صفحه یا پوسته معادل صورت می‌گیرد.

باید به این نکته توجه داشت که انتخاب سیستم و فرم مناسب سازه فضاکار از دیدگاه طراحی مفهومی در اغلب موارد به مراتب حایز اهمیت بیشتری از آن است که سیستم نامناسبی انتخاب و کوشش در بهینه‌یابی آن به‌عمل آید. در عمل، لازم است کوشش به‌عمل آید تا مقاطع و اعضا گروه‌بندی شوند و تعداد این گروه‌ها از دیدگاه اجرایی، به نحوی بی‌رویه زیاد نگردد.

۴-۲-۱۷- پیش‌خیز

ایجاد پیش‌خیز در سازه‌های فضاکار پوشاننده بام‌ها، کف‌ها، سقف‌ها و عرشه‌ها در موارد زیر مفید خواهد بود:

- به منظور کنترل میزان تغییرمکان سازه در دهانه‌های نسبتاً بزرگ،

- ایجاد شیب یا انحنا برای هدایت آب‌های سطحی به کناره‌ها و ممانعت از بروز آب یا برف انباشتی.

سازه‌های فضاکار مورد اشاره در فوق را می‌توان به‌صورت زیر طراحی نمود:

- بدون پیش‌خیز و به‌طور تخت (در این حالت برای جمع‌آوری آب‌های سطحی و زهکشی ممکن است مجموعه سازه

فضاکار شبکه‌ای به‌خودی‌خود در شیب قرار داده شود یا فاصله لایه‌ها به تدریج افزایش یابد یا از طریق نصب دستک‌های با

ارتفاعات متفاوت و استقرار پرلین‌ها در شیب مناسب، شیب‌بندی صورت گیرد).

- با پیش خیز در یک راستا شامل:
- پیش خیز کم شیب پله‌ای (شامل یک خط الرأس)،
- پیش خیز کم شیب چلیکی (با شعاع انحنای قابل ملاحظه)،
- پیش خیز کم شیب گنبدی شکل (با شعاع انحنای قابل ملاحظه)،
- با پیش خیز در راستاهای متعدد با چند خط الرأس.

به منظور ایجاد پیش خیز به طور معمول لازم است طول اعضای لایه زیرین کوچکتر از طول اعضای شبکه رویین باشند. در برخی از سیستم‌های سازه‌های شبکه‌ای فضاکار، بسته به نوع اتصالات، امکان کاهش یا افزایش محدود فاصله مرکز تا مرکز پیوندها به طرق گوناگونی بدون آنکه طول اعضای لایه‌های رویین و زیرین را متفاوت طراحی نمایند، فراهم گردیده است؛ به عنوان مثال، با اتصالات پیچی با رزوه‌های راست گرد و چپ گرد در دو انتهای عضو می‌توان این نیت را به میزان محدود برآورده ساخت. در سایر موارد، باید برای ایجاد پیش خیز به میزان مورد نظر، طول اعضای شبکه زیرین و رویین را به طور متناسب متفاوت اختیار نمود، که این امر را می‌توان بدون نقض فلسفه طراحی مدوله سازه‌های فضاکار به انجام رساند.

میزان پیش خیز سازه‌های مورد بحث در این قسمت متناسب با مقدار کمی بارهای ثقلی، نوع پوشانه و شرایط اقلیمی اختیار می‌گردد. پیش خیز را می‌توان برای مقابله با تغییر مکان ناشی از بار مرده یا بار مرده همراه با سهمی از بار زنده یا بار مرده توأم با تمامی بار زنده طراحی، پیش‌بینی نمود.

۴-۳- شیوه‌های ساخت، بافت و نصب

سازه فضاکار شبکه‌ای فولادی از مجموعه‌ای از اعضای فولادی مرتبط با یکدیگر تشکیل شده است که در آن اعضا طبق نظمی معین به یکدیگر متصل شده‌اند. فرآیند ساخت سازه مشتمل است بر ساخت و آماده‌سازی اعضا، اجزاء پیوندها و ادوات اتصال و در پی آن انبار کردن، حمل و اتصال آنان به یکدیگر بر اساس نقشه‌های جزییات ساخت، بافت و نصب. فرایند ساخت و بافت و نصب باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که با توجه به امکانات و تجهیزات و شیوه‌هایی که در روند مطالعات طراحی پروژه تعیین گردیده‌اند، مطابق مشخصات فنی طرح، به طرح جامه عمل پوشانده شود. بنابراین تأکید بر این نکته ضروری است که فرایند طراحی سازه نه تنها فرایندی قابل تفکیک از اقدامات عملی ساخت، بافت و نصب سازه نمی‌باشد، بلکه تعیین‌کننده فعالیت‌های گام به گام و روش‌های اجرای سازه می‌باشد، بنابراین چنانچه در پیوست‌های ۷ و ۸ این آیین‌نامه مقرر گردیده است، یکی از دستاوردهای مطالعات طراحی، ارایه مشخصات فنی ساخت، بافت و نصب می‌باشد.

اغلب در مرحله مطالعات طراحی، سازه به واحدها یا زیرمجموعه‌های قابل بافت تقسیم می‌شود؛ به نحوی که این واحدها جداگانه ساخته و در موقعیت مناسب بهم بافته شوند. در نهایت زیرمجموعه‌ها یا مجموعه‌های بافته شده در محل نهایی نصب خواهند گردید.

تفسیر - شیوه تقسیم سازه به واحدهای کوچکتر، نحوه بافت واحدها و روش نصب زیرمجموعه‌ها یا مجموعه‌های پیش‌بافته موجب ارایه شیوه‌های گوناگون ساخت و بافت و نصب سازه‌های فضاکار شده است. هرگاه این شیوه‌ها توفیق یابند که در فرآیند احداث سازه فضاکار تسهیل و در کاهش زمان و هزینه‌ها با حفظ معیارهای کیفی مؤثر واقع شوند، به سرعت مورد بهره‌برداری قرار گرفته و گسترش می‌یابند. واژه‌های کلیدی در این زمینه عبارت‌اند از پیش ساختن و تولید انبوه صنعتی. پیش‌ساختگی می‌تواند برای دهانه‌های متعارف تا حد تولید انبوه پیش رود، در دهانه‌های بزرگ نیز پیش‌سازی قطعات تحت کنترل کیفیت دقیق، دستاوردهای مطلوب فنی و اقتصادی به همراه خواهد داشت.

روش‌های پیش‌ساخته متعارف سازه‌های فضاکار را می‌توان به ترتیب زیر طبقه‌بندی کرد:

۴-۳-۱- سیستم‌های پیوندهای

هر سیستم سازه فضاکار شبکه‌ای متشکل از دو جزء اصلی: (۱) اضلاع و (۲) پیوندها می‌باشد. در این سیستم‌ها پیوندها واسطه ارتباط بین اضلاع می‌باشند و در سیستم‌های رایج به‌طور معمول هر عضو به‌وسیله پیچ یا جوش به پیونده متصل می‌شود. شکل پیونده و نحوه اتصال ضلع و پیونده به یکدیگر عامل ایجاد تنوع در این سیستم‌ها می‌باشد.

۴-۳-۲- سیستم‌های واحدی

در این سیستم‌ها هر واحد سازه فضاکار (مدول) به‌خودی‌خود مجموعه‌ای از ضلع‌های مرتبط با یکدیگر است. شبکه فضاکار از بهم پیوستن این واحدها شکل می‌گیرد. ویژگی‌های هندسی این واحدها، نوع اجزای تشکیل‌دهنده آنان و نحوه اتصال واحدها به یکدیگر موجب تنوع قابل ملاحظه این سیستم‌ها گردیده است. یک مدول تکرارشونده ممکن است تک واحدی یا چند واحدی باشد. در برخی از سیستم‌ها تنها از یک نوع واحد تکرارشونده و پاره‌ای دیگر از چند واحد متفاوت برای ایجاد مجموعه یا زیرمجموعه‌های شبکه‌ای سازه فضاکار استفاده می‌شود.

تفسیر - سیستم‌های متشکل از تعداد محدودی از واحدهای حتی‌المقدور یکسان تکرارشونده یا لاقط با فرم‌ها و ابعاد کلی یکسان و به اصطلاح مدوله در خور پیش‌ساختن و تولید انبوه صنعتی می‌باشند.

۴-۳-۳- سیستم‌های ویژه

سیستم‌های رایج پیش‌ساخته، که از آن‌ها در دو بند گذشته یاد شد، بیشتر در دهانه‌های متعارف کاربرد دارند و توسعه آنها برای استفاده در دهانه‌های بزرگ اغلب اقتصادی نخواهد بود. در چنین مواردی اگر رفتار سازه در بخش‌هایی از آن در امتدادهای متفاوت یکسان نباشد یا به عبارت دیگر نیروهای درونی در یک امتداد بالنسبه قابل ملاحظه باشد، می‌توان اعضا را به‌صورت پیوسته در امتداد مزبور ادامه داد و دیگر اعضا را در گره‌ها به اعضای ممتد متصل کرد. اغلب با طراحی یک اتصال خاص در چنین موقعیت‌هایی می‌توان دامنه استفاده از سیستم‌های متعارف را گسترش داد.

همچنین، با استفاده از یک شبکه سازه فضاکار اصلی که با اتصالات خاص ایجاد خواهد شد، می‌توان سطح مورد پوشش را به سطوح کوچک‌تر تقسیم کرد و این سطوح را با سیستم‌های پیوندهای یا واحدی پوشش داد. به عبارت دیگر، در این روش شبکه سازه فضاکار اصلی از اتصال زیر مجموعه‌های فضاکار شبکه‌ای متشکل از سیستم‌های متعارف تشکیل می‌شود. می‌توان از نظم معمول شبکه‌های سازه فضاکار استفاده کرده و شبکه مورد نظر را به بخش‌های کوچک‌تر تقسیم کرد و با طراحی الگوهای خاص این بخش‌های کوچک را جداگانه ساخته و به موقعیت مربوط حمل کرد تا شبکه اصلی ایجاد گردد.

۴-۳-۴- شیوه‌های بافت و جابه‌جایی

امروزه با پیشرفت روش‌های جابه‌جایی می‌توان قطعات سنگین و حجیم را به‌طور مطمئن جابه‌جا کرد و این امکان اجازه می‌دهد تا سازه‌ها و تأسیسات بزرگ در کارخانه‌ها و یا در کارگاه‌ها در تراز زمین ساخته شوند و سپس در سطح و یا در ارتفاع جابه‌جاشده و در موقعیت لازم استقرار یابند. به این ترتیب در حالتی که ساخت و بافت در تراز پایین انجام شود، شرایط ارضای ملزومات

اقتصاد طرح و ایمنی ساخت به نحو مطلوب فراهم گردیده، با امکان اعمال سیستم کنترل کیفیت آسان تر، دسترسی به کیفیت برتر نیز میسر می شود. در مورد سازه های فضاکار فرا ساحلی، مجموعه های تا چندین ده هزار تن در ساحل ساخته شده، توسط شناور به موقعیت نصب انتقال می یابند.

قطعه بندی برای ساخت و جابه جایی باید با توجه به امکانات در دسترس و پایداری و مقاومت هر قطعه در مراحل جابه جایی صورت گیرد. بر این اساس، شیوه های متداول بافت و جابه جایی به کار گرفته می شوند.

پرداختن به جزئیات مربوط به این شیوه ها موضوع بخش سوم این آیین نامه است. در فصل حاضر، به نکاتی که باید در ارتباط با مسایل ساخت و نصب در طراحی مجموعه سازه فضاکار مورد نظر قرار گیرند، اشاره می شود.

شیوه های زیر برای بافت و نصب سازه های فضاکار شبکه ای فولادی به کار گرفته می شوند:

- بافت کل سازه با ترتیب مناسبی روی داربست (به طور معمول متحرک)،

- تثبیت بخشی از سازه در موقعیت خود و بافت بقیه به صورت طره ای و با استفاده از پایه های موقت به ترتیبی که بخش های بافته شده به یکدیگر و به تکیه گاه های خود برسند،

- تقسیم سازه با توجه به توان تجهیزات در دسترس به نوارها و یا بلوک های خود ایستا. بافت هر نوار یا بلوک به طور جداگانه در تراز زمین و رساندن آن به جایگاه نهایی خود و اتصال به مجموعه قبلی،

- بافت نواری از سازه در ارتفاع نهایی روی داربست و لغزاندن روی بستر تا فراهم شدن امکان بافت بخش بعدی بر روی داربست و ادامه عملیات تا پایان کار،

- بافتن کل شبکه در سطح زمین و رساندن آن به موقعیت نهایی با استفاده از مجموعه ای از جراثقال ها. در این روش جابه جایی افقی شبکه نیز تا اندازه ای قابل انجام است.

- بافتن کل شبکه در موقعیت نهایی افقی خود با رواداری قابل پذیرش در تراز زمین و جابه جایی آن با استفاده از سیستمی از جک های مستقر بر برج های بالابر و کابل های آویخته از آنها در ارتفاع تا رسیدن به تراز مطلوب. در این روش همچنین می توان بسته به مورد از ستون ها یا قاب های سیستم سازه تکیه گاهی نیز برای استقرار جک ها استفاده کرد یا جک ها را بر روی پایه های موقت مستقر کرد.

- روش های رایج ساخت طره ای پل ها در موارد قابل کاربرد و همچنین در حالتی که موقعیت نهایی شبکه فضاکار با زمین یا بام ساختمان موجود مقاومی در مجاورت آن هم تراز باشد، به کارگیری شیوه های نظیر روش های متداول احداث پل ها از طریق پیشرانی قابل استفاده خواهد بود. در این حالت انتظار می رود شبکه فضاکار به خودی خود بتواند عملکرد خردی پیشرانی را ایفا نماید. در هر حال، در صورتی که از سازه های فضاکار شبکه ای به عنوان پایه ها و یا سازه عرشه پل بهره گیری شود، روش های متداول احداث پل ها به طور معمول در این نوع از سازه ها نیز قابل کاربرد خواهد بود؛ با توجه به این نکته که کاهش وزن قابل ملاحظه ناشی از بهره گیری از سازه های فضاکار شبکه ای با کف یا عرشه فولادی یا بتنی در عین افزایش صلبیت، منجر به امکان افزایش طول دهانه ها و تسهیل و تسریع در احداث چنین پل هایی در مقایسه با پل های متداول بتن آرمه یا فولادی خواهد گردید.

انتخاب هر یک از شیوه های یاد شده و یا ترکیب مناسبی از آنها یا روش های متنوع ابتکاری و ابداعی دیگر با توجه به موقعیت پروژه، تجهیزات و ماشین آلات در دسترس، فضای موجود برای عملکرد ماشین آلات، شکل و مقاومت سازه یا زیر مجموعه های آن، تغییر شکل سازه یا قطعات آن در ارتباط با نقاط آویز انتخابی، مسایل مربوط به جابه جایی افقی بر بسترهای مربوط یا نقاط اتکایی

موقت، بخش عمده‌ای از مطالعات طراحی را برای هرگزینه طرح تشکیل می‌دهد. نقاط قوت و ضعف هرگزینه از دیدگاه فنی و اقتصادی باید در انتخاب گزینه برتر مورد توجه قرار گیرد.

تفسیر - شیوه ساخت باید در مرحله طراحی معین و محاسبات فنی با توجه به روش بافت و نصب صورت گیرد به نحوی که در هر مرحله از بافت و نصب، پایداری مجموعه سازه‌های نا تمام و تکیه‌گاه‌ها و مهاربندی‌ها یا کابل‌های موقت یا دایم آن‌ها تحت تأثیر تمامی کنش‌های قابل اعمال در بازه زمانی مربوط تأمین شده باشد.

۴-۳-۵- نصب

بعد از نصب دستگاه‌ها و قطعات تکیه‌گاهی، سازه بافته‌شده، به موقعیت نهایی خود نزدیک‌شده، پس از تنظیم نهایی در موقعیت خود استقرار یافته و نصب می‌شود. به طور معمول و با توجه به شرایط محیطی، از جمله باد و به ویژه درجه حرارت، موقعیت سازه به طور دقیق تعیین و خطاهای موجود محاسبه و در مرحله تنظیم نهایی خطاها تا حد ممکن سرشکن شده و با توجه به حدود رواداری‌های مجاز، سازه در بهترین موقعیت ممکن استقرار داده می‌شود. متعاقباً قطعات و دستگاه‌های تکیه‌گاهی تنظیم و سازه بر تکیه‌گاه‌ها تثبیت می‌گردد.

در طراحی سازه‌های فضاکار باید جزییات اجرایی نصب پیش‌بینی و رواداری‌های نصب تعیین و ملاحظات لازم تبیین و در نقشه‌ها و همچنین مشخصات فنی ساخت و نصب قید گردند.

۴-۴- طراحی مبتنی بر حالات حدی

۴-۴-۱- مقدمه

الزامات بنیادین طراحی به تفصیل در بند ۲-۲ این آیین‌نامه تبیین گردیده‌است. همچنین در بند ۲-۳ حالات حدی - که لازم است پاسخ سازه در آن حالات بررسی گردد- و شیوه طراحی بر مبنای حالات حدی و تعیین شرایط طراحی مربوط تعریف و تشریح گردیده‌اند. کنش‌ها و آثار محیطی اعمال شونده بر سازه در بند ۲-۴ تعریف و طبقه‌بندی شده و مقادیر مشخصه کنش‌ها معرفی گردیده‌اند. در بند ۲-۵ مقاومت لازم سازه در مقایسه با کنش‌ها و ترکیب‌های بحرانی برای شرایط متفاوت طراحی مورد تأکید قرار گرفته است و در بند ۲-۶ به تعریف مقادیر اسمی، مشخصه و طراحی پرداخته شده و ویژگی‌های مکانیکی مصالح و داده‌های هندسی در بند ۲-۷ مورد بحث قرار گرفته‌اند. بند ۲-۸ با توجه به ویژگی‌های سازه، شرایط طراحی، ترازهای عملکردی، اهمیت کنش‌ها و آثار محیطی، به شیوه‌های مدل‌سازی متناسب با روش‌های تحلیل مورد نیاز تخصیص یافته است و بند ۲-۹ بر لزوم تأمین مقاومت سازه در مقابل گسیختگی پیش‌رونده تأکید داشته و تدابیر لازم برای ممانعت از بروز گسیختگی پیش‌رونده را مورد اشاره قرار داده‌است.

بند ۲-۱۰ رابطه صحت‌سنجی لازم برای طرح سازه فضاکار را با دیدگاه احتمال‌اندیشانه ارائه می‌دهد. در فصل سوم جزییات کنش‌ها و آثار محیطی اعمال شونده بر سازه و مقادیر اسمی کنش‌ها با توجه به اهمیت سازه، سطح خطر مورد بررسی و موارد ذیربط دیگر، ارائه گردیده است.

در بندهای زیر روابط صحت‌سنجی طرح تشریح شده و ضرایب پاره‌ای ایمنی بار و مقاومت و معیارهای کمی طراحی و ترکیب‌های بارها برای شرایط گوناگون طراحی و حالات گوناگون حدی تعیین گردیده‌اند.

۴-۴-۲- حالات حدی نهایی

۴-۴-۲-۱- شرایط صحت‌سنجی

۱- هنگامی که یکی از حالات حدی تعادل استاتیکی یا جابه‌جایی یا تغییرشکل بزرگ سازه بررسی می‌شود، باید نامعادله ۴-۱ ارضا گردد.

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab} \quad (۱-۴)$$

که در آن:

$E_{d,dst}$ اثر کنش‌های نامتعادل‌کننده مفروض در طراحی و

$E_{d,stab}$ اثر کنش‌های متعادل‌کننده مفروض در طراحی است.

۲- هنگامی که یکی از حالات حدی گسیختگی یا تغییرشکل زیاد مقطع، عضو یا اتصال (به جز خستگی) بررسی می‌شود، باید نامعادله ۴-۲ ارضا شود.

$$S_d \leq R_d \quad (۲-۴)$$

که در آن:

S_d بر مقدار طراحی نیرو یا لنگر درونی عضو یا جزء مورد بررسی و

R_d بر مقدار طراحی مقاومت نظیر دلالت دارند.

هریک از این دو، مقادیر طراحی همه خصوصیات سازه‌ای را دربردارند.

۳- هنگامی که حالت حدی تشکیل مکانیزم مورد بررسی قرار می‌گیرد، باید اطمینان حاصل گردد که تشکیل مکانیزم ناپایدار با قابلیت اعتماد مشخصی محتمل نخواهد بود؛ مگر در حالتی که کنش‌ها با در نظر گرفتن مقادیر طراحی ویژگی‌های سازه‌ای، از مقادیر طراحی تجاوز نمایند.

۴- هنگامی که یک حالت حدی پایداری ناشی از آثار درجه دوم مورد بررسی قرار می‌گیرد، باید تأیید گردد که ناپایداری به‌وقوع نخواهد پیوست، مگر آنکه با ملحوظ‌داشتن مقادیر طراحی همه ویژگی‌های سازه‌ای، کنش‌ها از مقادیر طراحی تجاوز نمایند. در ضمن باید صحت‌سنجی مقاطع نیز طبق بند ۲ فوق، به‌عمل آید.

۵- هنگامی که حالت حدی گسیختگی ناشی از خستگی مورد بررسی قرار می‌گیرد، باید تأیید گردد که مقادیر طراحی اندیس خرابی، D_d ، از واحد تجاوز نمی‌نماید.

۶- هنگامی که اثر کنش‌ها بررسی می‌شود، باید نامعادله ۴-۳ برقرار باشد.

$$E_d \leq C_d \quad (۳-۴)$$

که در آن:

E_d مقدار طراحی اثر ناشی از کنش‌های اعمالی و
 C_d ظرفیت طراحی متناظر با آثار این کنش‌ها می‌باشد.

۴-۲-۲- ترکیب کنش‌ها، آرایش بارها و حالات بارگذاری

هر آرایش بار، موقعیت، مقدار، امتداد و جهت یک یا مجموعه‌ای از کنش‌های آزاد را مشخص می‌سازد. هر حالت بارگذاری، آرایش بارها، مجموعه تغییرشکل‌ها و ناکاملی‌های سازگار با یکدیگر را که در صحت‌سنجی به نیت خاص در نظر گرفته می‌شود، مشخص می‌سازد.

برای هر حالت بارگذاری، مقادیر طراحی E_d برای آثار کنش‌ها باید از قواعد ترکیب مقادیر طراحی کنش‌ها تعیین شوند. این مقادیر در جدول ۱-۴ ارائه شده‌اند.

جدول ۱-۴- مقادیر طراحی کنش‌ها

| کنش‌های A_d | کنش‌های متغیر Q_d | | کنش‌های دایمی G_d | شرایط طراحی |
|------------------|-----------------------|------------------|---------------------|--------------|
| | عوامل متغیر همراه | عوامل متغیر غالب | | |
| | $\psi_0 \gamma_Q Q_K$ | $\gamma_Q Q_K$ | $\gamma_G G_K$ | دایمی و گذرا |
| $\gamma_A A_K$ | $\psi_2 Q_K$ | $\psi_1 Q_K$ | $\gamma_{GA} G_K$ | تصادفی |

در ترکیب کنش‌ها رعایت نکات مشروحه زیر الزامی است:

(الف) مقادیر طراحی ارائه‌شده در جدول ۱-۴ باید با استفاده از قواعد زیر ترکیب شوند:

- در شرایط دایمی و گذرا برای صحت‌سنجی طراحی در مقابل تمامی آثار کنش‌ها به جز پدیده خستگی

$$\sum \gamma_{G,j} + \gamma_{Q,1} Q_{K,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{K,i} \quad (۴-۴)$$

- در شرایط طراحی با در نظر گرفتن آثار کنش‌های تصادفی

$$\sum_j \gamma_{GA,j} G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} Q_{K,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{K,i} \quad (۵-۴)$$

که در آن:

$G_{K,j}$ مقادیر مشخصه کنش‌های دایمی،

$Q_{K,1}$ مقدار مشخصه یکی از انواع کنش‌های متغیر،

$Q_{K,i}$ مقادیر مشخصه دیگر کنش‌های متغیر،

A_d مقدار طراحی کنش تصادفی،

$\gamma_{G,i}$ ضریب پاره‌ای کنش دایمی $G_{K,j}$ ،

$\gamma_{GA,j}$ مانند $\gamma_{G,j}$ ولی برای شرایط طراحی تصادفی،

$\gamma_{Q,i}$ ضرایب پاره‌ای کنش متغیر $Q_{K,i}$ ،

ψ_0 ضریب کنش متغیر برای ترکیب نادر و ψ_1 ضریب کنش متغیر با رویداد متناوب و ψ_2 ضریب کنش متغیر شبه‌دایمی می‌باشند.

(ب) ترکیب‌های شرایط طراحی تصادفی یا شامل یک کنش آشکار A می‌باشد یا وضعیت پس از یک رویداد تصادفی را در برمی‌گیرد ($A=0$). مقدار γ_{CA} را می‌توان برابر ۱ فرض نمود.

(پ) در روابط (۴-۴) و (۵-۴) کنش‌های غیرمستقیم هرگاه مصداق داشته باشند، باید در نظر گرفته شوند.

(ت) برای سازه ساختمان‌ها ترکیب‌های کنش‌ها را می‌توان به شرح ساده‌تر زیر در نظر گرفت.

- برای شرایط طراحی مستمر و گذرا ضرایب ایمنی پاره‌ای داده شده در جدول ۲-۴ باید اعمال گردد.

جدول ۲-۴- ضرایب ایمنی پاره‌ای برای سازه ساختمان‌ها در شرایط طراحی مستمر و گذرا

| عوامل متغیر (γ_Q) | | کنش‌های دایمی (γ_G) | حالات کرانه‌های پایینی و بالایی آثار کنش‌ها |
|----------------------------|------------------|---------------------------------|--|
| عوامل متغیر همراه | عوامل متغیر غالب | | |
| * | * | 1.0 | در کرانه آثار مطلوب $\gamma_{F,inf}$ |
| 1.5 | 1.5 | 1.35 | در کرانه آثار نامطلوب $\gamma_{F,sup}$ |

* برای سازه‌های متعارف برابر با ۱/۰ و در مورد سازه‌های خاص بر اساس مطالعه و پیشنهاد طراح و تأیید کارفرما تعیین می‌گردد.

- برای شرایط طراحی تصادفی که در آن رابطه (۵-۴) صادق است، ضریب ایمنی پاره‌ای برای عوامل متغیر برابر با واحد در نظر گرفته می‌شود.

- هنگامی که نیاز باشد که آثار یک کنش مستمر متشکل از اجزای دارای اثر مطلوب و یا نامطلوب در نظر گرفته شوند، ضرایب پاره‌ای بار $\gamma_{G,inf}$ را برای اثر مطلوب می‌توان برابر با ۱/۱ ($\gamma_{G,inf} = 1.1$) اختیار نمود.

و در مورد آثار نامطلوب، ضریب $\gamma_{G,sup}$ برابر ۱/۳۵ ($\gamma_{G,sup} = 1.35$) را به کار برد، مشروط بر آنکه اختیار ۱ برای آثار مطلوب و نامطلوب منجر به ایجاد نتیجه نامطلوب‌تری نگردد.

- هنگامی که مولفه‌های یک اثر برداری بتواند به طور مستقل تغییر نماید، مؤلفه مطلوب باید در ضریب کاهش $\psi_{vec} = 0.8$ ضرب شود.

- برای سازه ساختمان‌ها، به عنوان ساده‌سازی رابطه (۴-۴) را می‌توان با هر یک از دو رابطه زیر که مقدار افزون‌تری از آن حاصل گردد، جایگزین نمود.

با در نظر گرفتن نامطلوب‌ترین کنش متغیر:

$$\sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \quad (۴-۶ الف)$$

و با در نظر گرفتن تمامی کنش‌های نامطلوب:

$$\sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + 0.9 \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,1} Q_{k,i} \quad (۴-۶ ب)$$

جزئیات مفاهیم طراحی مبتنی بر حالات حدی نهایی در پیوست ۶ این آیین‌نامه ارائه گردیده‌است.

۴-۳-۴- حالت حدی خدمت‌رسانی

$$E_d \leq C_d \quad \text{یا} \quad E_d \leq R_d$$

که در آن:

C_d مقدار اسمی یا تابعی از ویژگی‌های معینی از مصالح در ارتباط با آثار کنش‌های مفروض در طراحی و E_d آثار ناشی از کنش‌های طراحی است که براساس یکی از ترکیب‌های زیر تعیین می‌شود. ترکیب‌های لازم برای صحت‌سنجی در هر یک از حالات خدمت‌رسانی ذیربط به شرح زیر مشخص شده است. ترکیب کنش‌ها برای حالت خدمت‌رسانی با روابط زیر تعریف می‌شوند:

- حالات نادر ترکیب کنش‌ها

$$\sum_j Q_{k,i} + Q_{K,1} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (7-4)$$

- ترکیب کنش‌ها با احتمال رویداد متناوب و مکرر

$$\sum_j Q_{k,i} + \psi_{1,1} Q_{K,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (8-4)$$

- ترکیب کنش‌های شبه دایمی

$$\sum_j Q_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (9-4)$$

- در مواردی که قواعد ساده برای در نظر گرفتن حالات حدی خدمت‌رسانی ارائه شده است، محاسبه تفصیلی با کاربرد ترکیب کنش‌های مذکور در فوق ضروری نخواهد بود.

- به‌منظور ساده‌سازی فرآیند، رابطه (۷-۴) برای حالات ترکیب نادر کنش‌ها را می‌توان با یکی از ترکیب‌های زیر که مقدار بزرگ‌تری داشته باشد جایگزین کرد:

هنگامی که تنها نامطلوب‌ترین واکنش متغیر در نظر گرفته می‌شود:

$$\sum_j Q_{k,i} + Q_{k,1} \quad (10-4)$$

هنگامی که تمامی کنش‌های متغیر نامطلوب به‌طور همزمان در نظر گرفته می‌شوند:

$$\sum_j G_{k,j} + 0.9 \sum_{i \geq 1} Q_{k,i} \quad (11-4)$$

این رابطه را می‌توان همچنین به‌عنوان جایگزینی برای رابطه (۸-۴) برای ترکیب بار با رویداد متناوب به کار برد. مقدار γ_M باید برای همه حالات حدی خدمت‌رسانی برابر با یک منظور شود، مگر آنکه خلاف آن در این آیین‌نامه تصریح شده باشد.

۴-۳-۱- معیارهای حالت حدی خدمت‌رسانی

سازه‌های فضاکار علاوه بر دارا بودن مقاومت لازم در مقابل حالات حدی نهایی مندرج در فصل ۳ باید شرایط خدمت‌رسانی لازم را نیز ارضا نمایند. شرایط و نیازهای خدمت‌رسانی سازه‌های فضاکار بسته به هندسه، مصالح و سیستم مورد استفاده و کاربری و ترازهای عملکردی در سطوح خطر متفاوت مورد نظر، متفاوت می‌باشند. میزان تغییرشکل، ترک‌خوردگی و صدمه‌دیدگی اجزای غیرسازه‌ای، نشست آب، عدم هواپندی مناسب بعضی از انواع سازه‌ها و در نتیجه انباشتگی نامتعارف گرد و خاک، انعکاس و تشدید نامطلوب صدا به‌علت هندسه و پوشانه خاص، اثر تغییر دما و ارتعاش سازه در مقابل بارهای زنده و یا باد نباید شرایط نامساعدی را برای بهره‌برداران ایجاد نماید. بعضی از معیارهای بهره‌برداری سازه‌های فضاکار به شرح زیر می‌باشد:

تفسیر - به‌طور کلی تغییرمکان سازه فضاکار بر اساس ملزومات سازه‌ای تعیین نمی‌گردد، بلکه به نوع کاربری، نیازهای معماری، نوع پوشانه و ماهیت بارگذاری وابسته است. تغییرمکان سازه فضاکار پوشانه سقف‌ها به نوع بارگذاری، سختی و صلبیت سازه، ارتفاع سازه شبکه‌ای، ابعاد واحدهای تکرارشونده، مشخصات و خواص مصالح، مشخصات و خواص اعضا، ویژگی‌های هندسی و ابعاد دهانه‌ها، انعطاف‌پذیری اتصالات و پیوندها، شرایط تکیه‌گاهی و موارد چند دیگری بستگی دارد.

- حد تغییرمکان

تغییرمکان‌های ناشی از شرایط بهره‌برداری باید در حد ارتجاعی باقی‌مانده و نباید به‌حالت ماندگار تبدیل گردند. در مورد سازه‌های فاقد اهمیت ویژه و فاقد جراثقال سقفی، حد تغییرمکان تحت تأثیر ترکیب بارهای ثقلی در مواردی که پوشانه‌ها آسیب نبینند نباید از میزان $\frac{1}{150}$ دهانه تجاوز نمایند.

در ساختمان‌های متعارف در صورتی که سازه‌های فضاکار به عنوان سقف یا کف همراه با نازک‌کاری با مصالح بنایی استفاده شده باشد، حد تغییرمکان ناشی از بارهای مرده (که پس از نصب اجزای غیرسازه‌ای به آن اضافه می‌شود) در شرایط بهره‌برداری به $\frac{1}{340}$ طول دهانه کوچک‌تر و حد تغییرمکان ناشی از بارهای زنده بهره‌برداری به میزان $\frac{1}{360}$ طول دهانه کوچک‌تر محدود می‌گردد. در صورتی که نوع و جزییات اجرایی پوشانه‌هایی مثل شیشه حدود تغییرمکان‌های کوچک‌تری را ایجاد نماید، این حدود باید تعیین و پس از تأیید مرجع ذیصلاح مسؤؤل کنترل و تصویب طرح، رعایت گردد.

جزییات اتصال اجزای غیرسازه‌ای به اعضای سازه‌ای باید چنان باشد که تغییرمکان سازه موجب اشکال در عملکرد آنها نگردد. **تفسیر -** این موضوع در سازه‌های با دهانه‌های بزرگ مانند آشیانه‌های هواپیما، که قدرمطلق تغییرمکان می‌تواند دارای مقدار قابل توجهی باشد، نیازمند توجه ویژه می‌باشد. به‌عنوان مثال، اگرچه تغییرمکان مزبور تا حدی که از نظر بصری قابل‌پذیرش باشد و در کاربری جراثقال‌های سقفی اختلال ایجاد نماید، قابل قبول تلقی می‌گردد، اما ممکن است با توجه به نوع جزییات اجرایی در عملکردهای کشویی ورودی هواپیما به آشیانه ایجاد اشکال نماید. همچنین باید به جهت مؤثر تغییرمکان‌های حاصله از حالات متفاوت بارگذاری توجه شود، حتی اگر مقادیر مطلق آنها به طور نسبی کوچک‌تر باشد (مثل تغییرمکان‌های طره‌ها در اثر اضافه و یا کم‌شدن بارهای زنده در دهانه‌های ممتد و پیوسته).

تغییرمکان نسبی موضعی سازه فضاکار در راستای درون صفحه شبکه‌های فضاکار تخت نسبت به تکیه‌گاه‌ها نباید از $\frac{1}{500}$ طول دهانه تجاوز نماید، مگر آنکه عملکرد آن به صورت دیافراگم مورد نظر نباشد.

در شبکه‌های فضاکار با پوشانه‌هایی مثل انواع ورق‌های نازک فلزی / پلاستیکی تک یا دوجداره، تغییر مکان عمود بر سطح نظیر بار مرده نباید از $\frac{1}{۲۰۰}$ و برای بار زنده از یک $\frac{1}{۲۵۰}$ طول دهانه کوچک مؤثر تجاوز نماید؛ مگر آنکه از طریق کمی نشان داده شود که با توجه به نوع کاربری و عملکرد مورد انتظار می‌توان بدون نقض معیارهای حالات حدی بهره‌برداری، از حدود تغییر مکان‌های ذکر شده تجاوز نمود.

در دهانه‌های بزرگ باید با طراحی اعضای اصلی و فرعی و شیب‌بندی مناسب و کافی از بروز پدیده آب‌انباشتگی موضعی (مانداب) و یا عمومی و به طور کلی اعمال بارهای ناشی از افزایش تغییر شکل، احتراز گردد؛ در غیر این صورت، باید برای شرایط آب‌انباشتگی طراحی سازه پوشانه و زیرسازی آن مطابق با ملزومات مندرج در فصل ۳ با ملحوظ‌داشتن، بارهای محتمل ناشی از این پدیده صورت گیرد.

تغییر مکان اعضای فرعی یک سازه فضاکار با پوشانه‌های نسبتاً انعطاف‌پذیر، به میزان $\frac{1}{۱۵۰}$ طول دهانه آن عضو محدود می‌گردد. در صورتی که نصب وسایلی مانند انواع جراثقال‌ها و یا ابزار دقیق و نظایر آنها رعایت حدود تغییر شکل‌های موضعی و یا کلی خاصی را ایجاب نماید، باید محدودیت‌های تغییر مکان‌ها با توجه به نوع بهره‌برداری و تراز عملکردی مورد نظر مورد مطالعه کافی قرار گرفته و در طراحی منظور گردد.

در کاربرد سازه‌های فضاکار به عنوان سازه عرشه پل‌ها، باید محدودیت‌های تغییر مکان سازه عرشه پل‌ها رعایت گردد و تغییر مکان سازه فضاکار عرشه پل تحت تأثیر بارهای زنده و (با ملحوظ‌داشتن اثر ضربه) از $\frac{1}{۱۰۰۰}$ طول دهانه تجاوز ننماید. در مورد سایر کاربری‌ها مانند کف پارکینگ‌ها، سالن‌های ورزشی و نظایر آن، باید از محدودیت‌های مندرج در آیین‌نامه‌ها و مشخصات فنی و استانداردهای مربوط تبعیت گردد.

- حد ارتعاش

در نسبت‌های کوچک ضخامت به دهانه شبکه‌های فضاکار و نیز در طره‌های بزرگ، برای جلوگیری از ارتعاش مزاحم سازه در اثر بار باد و یا سایر بارهای زنده، باید طراحی با توجه به نحوه توزیع جرم و ویژگی‌های سازه از دیدگاه میرایی انجام شود. در صورتی که به دلیل نوع اثر کنش‌ها و نوع کاربری و عملکرد مورد نظر بررسی میزان ارتعاش سازه ضروری تشخیص داده شود، تحلیل دینامیکی مدل واقع‌گرایانه سازه به منظور کنترل دامنه تغییر شکل‌ها و کنترل بسامدهای ارتعاش طبیعی تحت تأثیر بارهای بهره‌برداری، در اغلب مواقع کفایت خواهد داشت. در مواردی که نتایج قانع‌کننده‌ای از تحلیل عددی قابل حصول نباشد، باید از شیوه‌های مبتنی بر آزمایش، بر اساس دیدگاه‌های مندرج در فصل هفتم این آیین‌نامه بهره جست. امکان و سودمندی بهره‌گیری از تمهیدات افزاینده میرایی و جداگرهای ارتعاشی باید در موارد مرتبط در چارچوب گزینه‌های مطالعاتی مورد بررسی قرار گیرد.

۴-۵- مصالغ

۴-۵-۱- فولاد سازه‌ای

مصالغ فولادی سازه‌ای مورد استفاده در سازه‌های فضاکار موضوع این آیین‌نامه، انواع فولادهای ساختمانی می‌باشند که از طرق نورد (گرم و یا سرد)، کوبن کاری یا ریخته‌گری تولید می‌شوند. تمامی مصالغ فولادی سازه‌ای باید با استانداردهای ملی کشور مطابقت داشته باشند. در صورت فقدان استاندارد ملی برای برخی از مصالغ مورد نیاز، باید از استانداردهای معتبر بین‌المللی (ترجیحاً استانداردهای ISO) پیروی نمود.

۴-۵-۱-۱- خصوصیات مکانیکی مصالغ

۴-۵-۱-۱-۱- مقادیر طراحی ضرایب مصالغ

ویژگی‌های مصالغ فولادی برای محاسبات طراحی در این آیین‌نامه عبارت‌اند از:

مدول الاستیسیته: $E=210000 \text{ N/mm}^2$

مدول برش: $G=E/2(1+\nu)$

ضریب پواسون: $\nu=0.3$

ضریب انبساط حرارتی: $\alpha=12*10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

چگالی جرمی: $\rho=7.850$

۴-۵-۱-۱-۲- مشخصات مصالغ برای فولادهای گرم نوردشده

مقادیر اسمی برای مقاومت تسلیم، f_y و مقاومت نهایی، f_u و سایر مشخصات مکانیکی فولادهای گرم نوردشده مطابق پیوست ب مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران، طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، در نظر گرفته می‌شود. در صورت ضرورت به‌کارگیری مصالغ فولادی با مشخصات مکانیکی و متالورژیکی متفاوت، باید ضمن تعیین استاندارد معتبر منطبق با مصالغ مورد نظر و ارائه گواهی‌نامه‌های بازرسی فنی، نسبت به اخذ تأییدیه از مرجع مسؤول کنترل کیفیت طرح و ساخت اقدام به عمل آمده و آزمایش‌های کنترل کیفیت به میزان مکفی برای اثبات تطابق ویژگی‌های مکانیکی و متالورژیکی مصالغ با استاندارد معتبر معرفی شده، زیر نظر مرجع مزبور به عمل آید.

۴-۵-۲- پیوندهای کوبن کاری شده

استفاده از قطعات کوبن کاری شده در پیوندهای سازه‌های فضاکار بسیار متداول است. فولاد مصرفی در این قطعات، فولادهای ساختمانی با مقاومت‌های متفاوت می‌باشند که باید با مشخصات مکانیکی و متالورژیکی مصالغ جوش مصرفی و مقاومت پیچ‌های مورد استفاده سازگار باشد. رزوه‌های داخلی قطعات کوبن کاری شده که در برخی از حالت‌ها برای اتصالات پیچی به کار می‌روند، باید برای برش در سطح چلیکی شکل دورادور پیچ طراحی شود.

۴-۵-۳- پیوندهای ریخته‌گری شده

در حالتی که ضرورت یابد از پیوندهای با وزن بیش از ۱۰۰ کیلوگرم با شکل‌های خاص یا پیچیده استفاده شود و ساخت آنها به‌وسیله عملیات کوبن‌کاری عملی نباشد یا تهیه آنها به روش ریخته‌گری ارجح باشد، استفاده از فولاد ریخته‌گری با مصالح و آلیاژهای ارابه‌دهنده میزان شکل‌پذیری مطلوب، به نحو تعیین‌شده در مشخصات فنی طرح و با اعمال سیستم کنترل کیفیت کارا، قابل قبول می‌باشد.

۴-۵-۴- مصالح پیچ‌ها

پیچ‌های مورد استفاده در سازه‌های فضاکار اغلب از فولاد با مقاومت زیاد ساخته می‌شوند، بسته به نوع اتصالات، استفاده از انواع پیچ‌های فولادی سازه‌ای با مشخصات مکانیکی ارابه‌شده در استاندارد ملی کشور یا پیوست ب، مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران، طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، بالامانع می‌باشد.

۴-۵-۴-۱- مصالح و مشخصات مکانیکی و متالورژیکی پیچ‌ها

مشخصه‌ها و خواص مصالح پیچ‌ها باید ملزومات استانداردهای معتبر بین‌المللی یا ملی را ارضا نمایند. در چارچوب استاندارد ISO 898T1 (مورد استناد در پیوست ب مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان ایران: طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی)، در مورد پیچ‌های نوع ۱۰/۹ باید مقاومت در برابر ضربه برای نمونه با زخمه استاندارد از طریق آزمایش شاری بر نمونه‌هایی که از میله اصلی پیچ گالوانیزه‌شده، حتی‌المقدور از موقعیتی در نزدیکی سطح تهیه شده‌اند، تعیین گردد. ظرفیت مقاومت کششی، برشی و ترکیبی پیچ‌ها باید مطابق استانداردهای معتبر اختیار گردند. برای پیچ‌های مشمول مشخصات ISO 898T1، مقادیر مقاومت حد جاری‌شدن، مقاومت نهایی، بیشینه تغییر طول نسبی و مقادیر کمیت‌های سختی و حداقل انرژی قابل جذب در آزمایش ضربه نمونه زخمه‌دار پیچ از جدول ب-۴، پیوست ب مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان ایران: طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی به‌دست می‌آید.

۴-۵-۴-۲- برنامه کنترل کیفیت پیچ‌ها

نمونه‌های شاری باید در دمای ۳۰- درجه سانتیگراد براساس استاندارد معتبر، از جمله ISO، EN، DIN یا ASTM مورد آزمایش و استنتاج قرار داده شوند و مقادیر انرژی قابل جذب آن‌ها باید از آنچه در استاندارد مزبور ارابه‌شده، افزون‌تر باشد. تمامی پیچ‌ها باید دارای رزوه مطابق استاندارد متریک ISO باشند. در صورت استفاده از انواع دیگر استانداردهای معتبر، باید در تمامی مراحل طرح و اجرا همسازی کامل برقرار باشد. ابعاد پیچ‌ها باید مطابق ابعاد استاندارد مورد استفاده انتخاب شود؛ با این‌وجود در مواردی که جزییات اجرایی، استفاده از پیچ‌هایی با ابعاد غیراستاندارد را ایجاب نمایند، اینگونه پیچ‌ها باید با مشخصات مصالح استاندارد و در ابعاد موردنظر با سفارش مخصوص تولید گردند. در این حالت، باید برنامه کنترل کیفیت پیچ تدوین و اعمال گردد.

تمامی پیچ‌های مورد استفاده باید از دیدگاه احتمال بروز استعداد شکست نارس مورد آزمایش‌های غیرمخرب و ترک‌یابی (از جمله بهره‌گیری از روش براده‌های مغناطیسی) قرار گیرند. برای هر بسته پیچ تحویل‌شده، باید مدارک زیر ارابه گردد تا مجوز استفاده از آن در پروژه صادر شود:

- گواهی نتایج آزمایش‌های ترکیبات شیمیایی و متالورژیک مصالح پیچ،

- گواهی نتایج آزمایش‌های مشخصه‌های مکانیکی شامل مقاومت حد جاری شدن و مقاومت نهایی کششی، میزان تغییر طول نسبی تا گسیختگی و میزان انرژی جذب شده در آزمایش ضربه استاندارد (شارپی)،
- گواهی کنترل‌های لازم از نظر رواداری‌های مجاز ساخت از طریق کنترل جزییات ابعاد و زوایای پیچ و رزوه‌ها با ابزار دقیق براساس استانداردهای معتبر.

مقادیر قابل پذیرش حاصل از نتایج آزمایش (مقادیر میانگین حاصل از آزمایش ۳ نمونه) در آزمایش‌های ضربه استاندارد نمونه زخمه‌دار در دمای ۳۰- درجه سانتیگراد، مقاومت حد جاری شدن، مقاومت نهایی، بیشینه تغییر طول نسبی و سختی پیچ در جدول ب-۴، پیوست ب مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان ایران ارایه گردیده است.

۴-۵-۴-۳- ملاحظات طراحی، ساخت و نصب پیچ‌ها

برای پیچ‌های نوع ۱۰/۹ تحت کشش، مقاومت طراحی را باید به میزان ۱۵٪ کاهش داد. به عبارت دیگر، در مورد این پیچ‌ها در حالت عملکرد تحت تأثیر کشش، ضریب کاهش مقاومت ۰/۸۵ را باید مدنظر قرار داد. استفاده از پیچ‌های گروه مقاومتی ۱۲/۹ در اتصالات کششی مجاز نیست.

پیچ‌ها باید عموماً به صورت گرم شکل داده شوند. رزوه‌های پیچ‌ها باید از طریق غلطک ایجاد گردند.

کلیه پیچ‌ها باید دارای نمایه نوع مصالح و شماره پیچ باشند.

در تعیین ابعاد و همچنین ساخت رزوه‌های پیچ و حدیده‌ها باید ضخامت لایه گالوانیزه به میزان مکفی در نظر گرفته شود. باید توجه داشت که در برخی از اتصالات پیچی برخی از سیستم‌های متداول سازه‌های فضاکار شبکه‌ای، مانند سیستم MERO، اثر سفت‌شدگی پیچ‌ها می‌تواند منجر به کاهش انعطاف‌پذیری اتصال گردیده و در نتیجه کاهش طول مؤثر اعضا گردد. در این حالت، طراح سازه در صورت پیش‌تنبیه نمودن پیچ‌ها در اتصالات، باید از ذخیره مکفی قابلیت جذب انرژی پیچ تا بروز حالت حدی شکست اطمینان حاصل نماید.

۴-۵-۴-۴ - پیچ با رویه گالوانیزه

اعمال کنترل کیفی لازم برای اطمینان از سازگاری پیچ‌ها با مشخصات استاندارد الزامی است، به ویژه هنگامی که برای حفاظت در برابر خوردگی، نسبت به اعمال پوشش گالوانیزه اقدام می‌شود.

اعمال گالوانیزه گرم برای پیچ‌های با مقاومت زیاد که قبلاً مورد عملیات حرارتی قرار گرفته‌اند، مجاز نیست. در اعمال گالوانیزه سرد باید نهایت دقت برای جلوگیری از نفوذ یون هیدروژن، به عمل آید؛ از اینرو اعمال گالوانیزه به طریق پاشش پودری مجاز تلقی می‌گردد.

۴-۵-۵-۵- اتصالات جوشی

برای جوش کاری قطعات پیش ساخته سازه‌های فضاکار تا حد ممکن استفاده از روش‌های خودکار زیر پودری و جوش کاری تحت حفاظت گاز توصیه می‌گردد. الکترودهای مورد استفاده در روش‌های ساخت در کارخانه یا جوش کاری در محل یا درجا باید مطابق با استاندارد ملی مربوط بوده و با توجه به کیفیت و در سازگاری با فولاد مبنا اختیار شود. مقاومت تسلیم، مقاومت کششی نهایی، ازدیاد طول نسبی در گسیختگی و کمینه مقدار انرژی در آزمایش ضربه استاندارد فلز الکتروود باید مشخصات فنی طرح را ارضا نمایند.

مقررات و ملزومات آماده‌سازی و جوش‌کاری قطعات و کنترل کیفیت عملیات اجرایی مندرج در مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمان ایران باید در تمامی جوش‌کاری‌های قطعات و اتصالات پیش ساخته رعایت گردد. ملزومات عمومی عملیات اجرایی در پیوست ۷ این آیین‌نامه مورد اشاره اجمالی قرار گرفته است. همچنین شیوه‌های کنترل کیفیت جوش - در کارخانه و در محل - به روش‌های مخرب و غیرمخرب همراه با برنامه‌های بازرسی فنی جوش متناسب با ویژگی‌های ساخت، بافت و نصب سازه‌های فضاکار، در بخش سوم این آیین‌نامه به تفصیل ارائه گردیده است.

۴-۶-۶- اعضای سازه

هر عضو سازه فضاکار از اجزای مهم سازه‌های سازه‌های فضاکار به‌شمار می‌رود که دو گره (یا پیونده) را به هم می‌بندد و نقش انتقال نیروها را ایفا می‌نماید. به‌منظور شناخت و طراحی مطلوب اعضای سازه‌های فضاکار، لازم است که طبقه‌بندی‌های مناسبی برای آن‌ها انجام گیرد.

۴-۶-۱- دسته‌بندی اعضا

اعضای سازه‌های فضاکار را می‌توان از دیدگاه‌های متنوعی به‌شرح زیر دسته‌بندی نمود:

الف) بر اساس شکل مقطع

ب) بر اساس نوع مقطع از نظر میزان استعداد بروز کمانش موضعی

پ) بر اساس شرایط سرحدی و قیود جانبی - پیچشی

ت) بر اساس نوع نیروها و آثار اعمال شونده و ماهیت پاسخ حاصله.

۴-۶-۱-۱- دسته‌بندی بر اساس شکل مقطع

اعضای سازه‌های فضاکار را بر اساس شکل مقطع در دو گروه اصلی زیر می‌توان دسته‌بندی کرد.

الف) مقاطع ساده یا مرکب

ب) مقاطع باز یا بسته

۴-۶-۱-۱-۱- مقاطع ساده یا مرکب

- مقاطع ساده به مقطعی اطلاق می‌گردد که از اشکال ساده هندسی نظیر دایره توپر، دایره توخالی، مربع مستطیل توپر، مربع مستطیل توخالی و نظایر آن ساخته شده باشند.

- مقاطع مرکب به مقطعی اطلاق می‌گردد که به صورت ترکیبی از اشکال ساده هندسی مذکور ساخته می‌شوند.

۴-۶-۱-۱-۲- مقاطع باز یا بسته

- مقاطع باز به مقطعی اطلاق می‌گردد که بتوان برای آن ابتدا و انتهایی را یافت که به‌یکدیگر متصل نشده‌اند.

- مقاطع بسته به مقطعی اطلاق می‌گردد که برای آن ابتدا و انتهایی متصور نیست.

تفسیر- از نمونه‌های متداول مقاطع باز سازه‌ای فولادی می‌توان به مقاطع تیرآهن (I)، بال پهن (H)، سپری (T)، ناودانی (U) و نبشی (L) اشاره نمود. اعضای لوله‌ای با مقاطع دایروی و یا اعضای قوطی شکل با مقاطع راست‌گوشه از متداولترین نمونه‌های اعضای سازه‌های فضاکار شبکه‌ای با مقاطع بسته به‌شمار می‌روند.

۴-۶-۱-۲- دسته‌بندی بر اساس نوع مقطع از نظر کماتش موضعی

مقاطع اعضای سازه‌های فضاکار از نظر میزان استعداد آنها برای کماتش موضعی به سه رده زیر دسته‌بندی می‌شوند:

الف) مقاطع فشرده

ب) مقاطع نیمه‌فشرده

پ) مقاطع لاغر

مشخصات حدی هر یک از مقاطع مذکور بر اساس هندسه مقطع در آیین‌نامه‌های معتبری که با مفاهیم و مبانی طراحی پیش‌بینی شده در این آیین‌نامه مطابقت داشته باشند، از قبیل مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران تعریف شده‌اند. همچنین در برخی از استانداردها مقطعی تحت عنوان مقاطع پلاستیک تعریف گردیده‌اند که در آنها احتمال بروز کماتش موضعی اجزای مقطع حتی پس از بروز پلاستیسیته گسترده محتمل نمی‌باشد و شرایط محدودتری از مقاطع فشرده برای نسبت بعد به ضخامت اجزای آنان پیش‌بینی شده‌اند که برای اعضای سازه‌ای با شکل‌پذیری زیاد کاربرد خواهند داشت. مشخصات چنین اعضای در استانداردهایی از قبیل مبحث سوم استاندارد EN و BS 5950 و ملزومات ویژه طراحی لرزه‌ای سازه‌های فولادی AISC ارائه شده است.

۴-۶-۱-۳- دسته‌بندی بر اساس شرایط سرحدی و قيود جانبی پیچشی

اعضای سازه‌های فضاکار بسته به شرایط مرزی انتهای خود از قبیل حالت مفصلی، حالت نیمه‌گیرداری و حالت گیرداری به رده‌های متنوعی نظیر اعضای دو سر مفصل، دو سر گیردار، دو سر نیمه‌گیردار، یک سر مفصل- یک سر گیردار و تقسیم‌بندی می‌شوند. در ضمن اعضای سازه‌های فضاکار بسته به آنکه دارای قيود و مهارهایی برای مقابله با کماتش جانبی و کماتش پیچشی باشند یا چنین قيودی برای آنها تأمین نشده باشد، به اعضای با تکیه‌گاه مقید و اعضای با تکیه‌گاه غیرمقید از دیدگاه جانبی - پیچشی تقسیم می‌شوند.

۴-۶-۱-۴- دسته‌بندی بر اساس نوع نیروها و آثار ناشی از تلاش‌ها

اعضای سازه‌های فضاکار بر اساس نوع نیروها و آثار کنش‌های اعمال‌شونده به رده‌های زیر تقسیم می‌شوند:

الف) اعضای تحت تأثیر نیروهای محوری کششی

ب) اعضای تحت تأثیر نیروهای محوری فشاری

پ) اعضای تحت تأثیر نیروهای محوری کششی - فشاری (نظیر مهاربندها هنگام تغییر جهت بارگذاری)

ت) اعضای تحت تأثیر لنگرهای خمشی و نیروهای برشی

ث) اعضای تحت تأثیر لنگرهای پیچشی

ج) اعضای تحت تأثیر ترکیب نیروهای محوری فشاری و لنگرهای خمشی

چ) اعضای تحت تأثیر ترکیب نیروهای محوری کششی و لنگرهای خمشی

ح) اعضای تحت تأثیر ترکیبی از آثار کنش‌های مذکور در فوق

۴-۶-۲- کلیات و موارد عمومی طراحی اعضا

در طراحی اعضای سازه‌های فضاکار موارد زیر باید در نظر گرفته شوند.

الف) حالات حدی مورد نظر در طراحی باید مشخص و ارضا شوند.

ب) برای اعضای تحت تأثیر نیروهای محوری فشاری، باید ضرایب طول مؤثر تعیین شوند.

پ) بسته به نوع مقطع اعضا از نظر کماتش موضعی (فشرده، نیمه‌فشرده و لاغر) طراحی متناسب با آن صورت پذیرد.

ت) بسته به مقیدبودن و نبودن اعضا از نظر کماتش کلی (جانبی، پیچشی) طراحی متناسب با آن صورت پذیرد.

ث) رده اعضای سازه‌های فضاکار بر اساس نوع نیروها و آثار اعمال‌شونده، باید مشخص‌شده و ملاحظات لازم طراحی بر اساس آیین‌نامه‌های معتبری که با مفاهیم و مبانی طراحی پیش‌بینی‌شده در این آیین‌نامه مطابقت داشته باشند، از قبیل مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران رعایت و اجرا شوند.

ج) بسته به باز و بسته‌بودن مقاطع اعضای سازه‌های فضاکار، ملاحظات لازم طراحی به ویژه از نقطه‌نظر برش و پیچش باید رعایت شوند.

۴-۷- پیوندها و اتصالات

اتصالات به دو نوع اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند:

- الف - اتصال مستقیم اعضا به یکدیگر
- ب - اتصال از طریق پیوندهای واسط

تفسیر - پیوندها معرف منطق سازه فضاکاراند و لازم‌است تا حد امکان:

- سخت و مقاوم باشند (مگر آن‌که نیت طراح به عمد بر انعطاف‌پذیری آنان باشد)،
- از نظر فرم و امکان برقراری اتصال ساده باشند،
- به سهولت ساخته شوند و قابلیت تولید صنعتی داشته باشند،
- شرایطی را فراهم سازند تا برون محوری اتصال به حداقل ممکن برسد.
- رواداری اجرایی قابل حصول را تأمین نمایند،
- به سهولت قابل بازبینی فنی، اصلاح، تعمیر و نگهداری باشند،
- قابلیت پذیرش تعداد قابل توجهی عضو را در زوایای فضایی گوناگون داشته باشند.

۴-۷-۱- کلیات

در سازه‌های فضاکار مشبک، پیوندها و اتصالات از اجزای مهم و اصلی سازه فضاکار می‌باشند. تنوع اتصالات سازه‌های گوناگون فضاکار و تعداد قابل ملاحظه اتصالات در سازه‌های شبکه‌ای فضاکار نشانگر اهمیت ویژه آنان می‌باشد. بنابراین، آشنایی طراحان با انواع پیوندهای متداول از ضروریات طراحی مجموعه سازه می‌باشد. چه طراح از چنین پیوندهایی بهره‌گیری نماید یا شیوه‌های ابداعی خود را ارایه و با توجه به رهنمودهای این آیین‌نامه و به‌ویژه مندرجات فصل هفتم مورد صحت‌سنجی قرار دهد.

پیوندهای متداول که تاکنون در تعداد قابل ملاحظه‌ای از سازه‌ها در سطح جهانی به کار گرفته شده‌اند، به طور تفصیلی در فصل ۶ و پیوست ۳ آیین‌نامه معرفی شده‌اند. پیوندهای سازه‌های شبکه‌ای فضاکار از دیدگاه‌های سیستم اتصال میزان صلبیت اتصال و شیوه ساخت و اجرا به شرح زیر طبقه‌بندی گردیده‌اند.

۴-۷-۲- سیستم‌های پیونده، مصالح و شیوه ساخت

سیستم‌های پیونده در سازه‌های فضاکار با توجه به پیش‌ساختگی غالب آنها به صورت سیستم‌های پیونده استاندارد و یا سیستم‌های پیوند خاص می‌باشند که بسته به نوع سیستم مورد نظر و نوع مصالح، الزامات خاص مربوط به آن باید در طراحی در نظر گرفته شوند. این الزامات به تفصیل در بند ۳-۳-۶-۳ ارائه شده‌اند. با توجه به اهمیت سیستم‌های پیونده در سازه‌های فضاکار، این سیستم‌ها از مصالح فولادی با مشخصات ویژه، که در استاندارد مربوط معرفی شده‌اند، ساخته می‌شوند و از شیوه‌های ریخته‌گری، ماشین‌کاری و کوبن‌کاری برای ساخت آنها استفاده می‌شود.

۴-۷-۳- رواداری‌های ابعادی

رواداری‌های ساخت و نصب باید در مشخصات فنی طرح با توجه به اهداف قابل حصول طرح تعیین و ارائه گردند. تا انجام مطالعات ویژه در مورد انواع سازه‌های فضاکار با ابعاد گوناگون، می‌توان رواداری‌ها در ابعاد ضوابط مندرج در مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمان ایران را به عنوان رهنمود کلی همراه با قضاوت مهندسی در همسازی با نوع سازه مورد نظر به‌عنوان ملزومات حداقل مورد توجه قرار داد.

۴-۷-۴- ملاحظات در مورد طراحی مجموعه سازه فضاکار با در نظر گرفتن اتصالات و پیوندها

الف) انتخاب سیستم پیونده بر اساس ملاحظات معماری، اقتصادی و عملکردی انجام می‌گیرد.
 ب) انتخاب نوع اتصال از دیدگاه صلبیت باید متناسب با فرضیات مدل‌سازی و امکانات تولید انجام گیرد.
 پ) در صورت انتخاب اتصال با بهره‌گیری از نوع خاص از سیستم پیونده استاندارد، متداول بسته به ویژگی‌های هندسی، ابعاد اولیه سیستم انتخاب شده و برای طراحی اولیه ابعاد پیوندها و اعضا می‌توان از ابعاد یک سیستم استاندارد همانند استفاده نمود.

۴-۷-۵- جزییات اجرایی

با توجه به تعداد اتصالات و پیوندهای سازه‌های فضاکار و برای رعایت دقیق رواداری‌های ابعادی، کنترل جزییات اجرایی و بهره‌گیری از مزایای تولید انبوه، توصیه می‌شود تا حدامکان از شیوه‌های صنعتی برای ساخت اتصالات و پیوندها و کنترل مراحل اجرایی بهره جست.

۴-۸- دستگاه‌های تکیه‌گاهی

پایداری کلی سازه‌ها در برابر کنش‌های وارده با عکس‌العمل تکیه‌گاه‌ها تأمین می‌گردد. به عبارت دیگر، تکیه‌گاه‌ها بخشی از سازه هستند که پایداری کلی سازه را تأمین می‌نمایند. تکیه‌گاه‌ها متناسب با قيودی که در برابر حرکت سازه ایجاد می‌کنند، دارا یا فاقد

عکس‌العمل می‌باشند. انتخاب محل تکیه‌گاه‌ها و نوع آنها یا قیدی که هر تکیه‌گاه در برابر حرکت سازه ایجاد می‌کند، شرایط مرزی ماهیتی سیستم را تعریف می‌نماید و از این‌رو طراحی تکیه‌گاه‌ها از مباحث مهم طراحی مفهومی مجموعه سیستم سازه فضاکار به‌شمار می‌رود که علاوه بر موارد فوق، در رفتار و دوام سازه اثر قابل توجهی خواهد داشت.

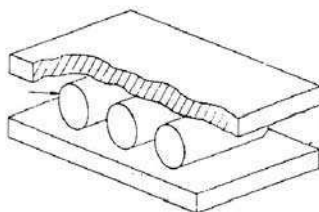
کنش‌های مؤثر بر سازه از قبیل بارهای زنده، کنش‌های محیطی، باد، زلزله، تغییرات دما، رفتار مصالح، خزش، نشست تکیه‌گاه‌ها و سایر عوامل موجب تغییرشکل یا حرکت سازه می‌گردند و به‌طور کلی بررسی رفتار سازه در هر نقطه آن به لحاظ حرکت ممکن در سه امتداد متعامد و دوران حول سه محور متعامد ضروری می‌باشد که بخشی از بررسی‌های حالات حدی را تشکیل می‌دهد که متناسب با آن قیدها و میزان حرکت در تکیه‌گاه‌ها تعیین می‌گردد. برای مثال در یک آشیانه هواپیما با دهانه بزرگ، سازه، تکیه‌گاه‌ها، پوشش‌ها و درها باید جوابگوی نیروها و تغییرشکل‌های بزرگ باشند؛ در صورتی که در سایه‌بان طولانی یک ایستگاه راه‌آهن یا یک سالن طولانی کشتی‌سازی می‌توان سازه طویل را با چند سازه با ابعاد طولی مناسب که با درز از یکدیگر جداسازی شده ولی در جوار یکدیگر قرار می‌گیرند، جایگزین کرده و میزان تغییرمکان‌ها را محدود کرد.

لازم است شرایط سرحدی تکیه‌گاهی و میزان آزادی یا قیود لازم برای حرکت‌های انتقالی و دورانی متناسب با مفروضات طراحی تعیین و جزییات اجرایی با قابلیت عملکرد مورد نظر تهیه گردد. هرگاه ممانعت از تغییرمکان‌های تکیه‌گاهی موجب بروز نیروهای درونی قابل ملاحظه در سازه گردد، باید آثار این قیود مورد بررسی قرار گیرد.

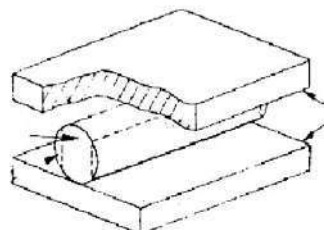
برای کنترل حرکت‌ها در تکیه‌گاه‌ها از اتصالات ویژه یا دستگاه‌های تکیه‌گاهی استفاده می‌شود. نقش دستگاه‌های تکیه‌گاهی تأمین ارتباط برای کنترل تعامل بارها و حرکت‌ها بین بخش‌های سازه در اغلب موارد بین سازه و تکیه‌گاه‌ها می‌باشد.

تفسیر - نمونه‌هایی از دستگاه‌های تکیه‌گاهی که به‌طور متداول در سازه‌های فضاکار با دهانه‌های نسبتاً وسیع و همچنین پل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، در این سطور مورد اشاره قرار داده شده‌اند:

- **تکیه‌گاه غلتکی فولادی** - تکیه‌گاهی است که در آن از یک یا چند غلتک فولادی شامل استوانه‌های متشکل از مصالح سخت صیقلی شده یا سیستم‌های چرخ‌دنده‌ای که بین صفحات فولادی رویین و زیرین قرار داده می‌شوند، تشکیل می‌گردد. به این ترتیب در صورت طراحی و نگهداری صحیح، آزادی حرکت در امتداد مورد نظر تأمین می‌گردد. در امتداد متعامد می‌توان با طراحی ضامن‌هایی حرکت را محدود یا مقید نمود. در مواردی که شرایط محیطی و میزان پایایی مورد نظر ایجاب نماید، می‌توان از فولادهای ضد زنگ یا با لایه پوشش ضد زنگ در این تکیه‌گاه‌ها بهره‌گیری نمود. به‌منظور عملکرد مورد نظر این سیستم، نباید در اجزای تکیه‌گاه لهیدگی به‌وجود آید. بنابراین به‌طور معمول در این تکیه‌گاه‌ها از مصالح سخت استفاده می‌شود (شکل‌های ۱-۴ و ۲-۴).

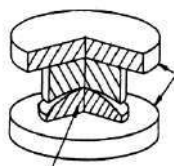


شکل ۴-۲: تکیه‌گاه چند غلتکی

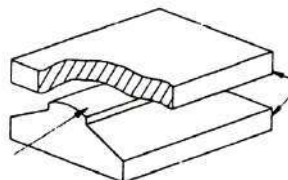


شکل ۴-۱: تکیه‌گاه تک غلتکی

- **تکیه‌گاه الاکلنگی** - تکیه‌گاهی است که از یک سطح قوسی در تماس با یک سطح تخت یا قوسی تشکیل شده و برای جلوگیری از حرکت نسبی افقی مهار شده است. سطوح قوسی می‌توانند استوانه‌ای (به منظور آزادی دوران حول یک محور) یا کروی (به منظور آزادی دوران حول تمام محورهای افقی) باشند. در این نوع تکیه‌گاه در واقع غلتش یک بخش بر روی بخش دیگر دوران را میسر می‌سازد (شکل‌های ۳-۴ و ۴-۴).

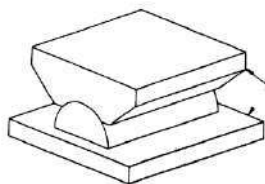


شکل ۴-۴: تکیه‌گاه الاکلنگی کروی

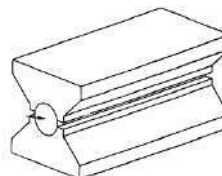


شکل ۴-۳: تکیه‌گاه الاکلنگی طولی

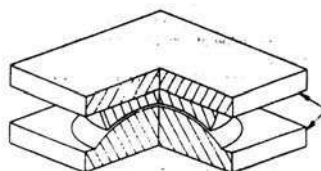
- **تکیه‌گاه مفصلی** - تکیه‌گاهی است که اغلب از دو یا چند عضو با سطوح قوسی جفت‌شونده تشکیل شده است. سطوح قوسی می‌توانند استوانه‌ای یا کروی باشند. در این نوع تکیه‌گاه لغزش یک بخش بر روی بخش دیگر دوران را میسر می‌سازد (شکل‌های ۴-۵ تا ۴-۷).



شکل ۴-۶: تکیه‌گاه مفصلی استوانه‌ای

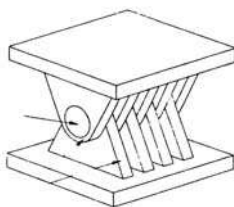


شکل ۴-۵: تکیه‌گاه مفصلی میله‌ای

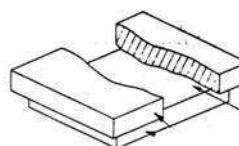


شکل ۴-۷: تکیه‌گاه مفصلی کروی

- **تکیه‌گاه چنگالی یا برگه‌ای** - تکیه‌گاهی است متشکل از یک استوانه توپر، که از میان تعدادی ورق که یک در میان به دو صفحه بالایی و پایینی تکیه‌گاه متصل شده‌اند، می‌گذرد (شکل ۴-۸).



شکل ۴-۹: تکیه‌گاه لغزشی



شکل ۴-۸: تکیه‌گاه چنگالی برگه‌ای

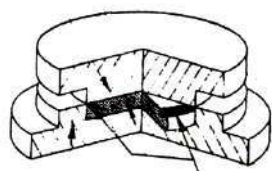
تکیه‌گاه لغزشی - تکیه‌گاهی است شامل دو سطح که یکی روی دیگری می‌لغزد. به منظور امکان لغزش سطوح کاملاً ماشین‌کاری و صیقلی می‌شوند و از مصالحی با ضرایب اصطکاک بسیار اندک مانند تفلون (PTFE) استفاده می‌شود (شکل ۹-۴).

تکیه‌گاه الاستومر - تکیه‌گاهی است که شامل یک قطعه (بلوک) از مواد الاستومر با یا بدون ورق‌های درونی فولادی می‌باشد. با توجه به مدول برشی اندک این تکیه‌گاه‌ها، هم به صورت غیرمقید به منظور ایجاد آزادی حرکت نسبی ناشی از تغییرات دما و هم در حالات مفید شده به کار برده می‌شود. با توجه به میزان مدول الاستیسیته فشاری تکیه‌گاه‌های الاستومر، معمولاً اختلاف فشار ناشی از دوران سازه متکی بر آن منجر به تغییر مکان همساز این تکیه‌گاه‌ها گردیده و در مواردی که قیود دورانی ایجاد نشده باشد، می‌توانند به صورت تکیه‌گاه ساده به کار گرفته شوند.

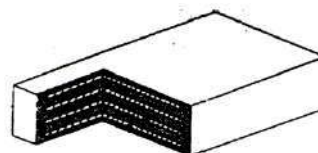
الف - تکیه‌گاه غیرمسلح - تکیه‌گاه الاستومری است که مسلح نشده است.

ب - تکیه‌گاه نواری - تکیه‌گاه الاستومر غیرمسلحی است که طول آن نسبت به عرض قابل ملاحظه است.

پ - تکیه‌گاه لایه‌ای - تکیه‌گاه الاستومری می‌باشد که با ورقه‌های فولادی مسلح شده است (شکل ۱۰-۴).



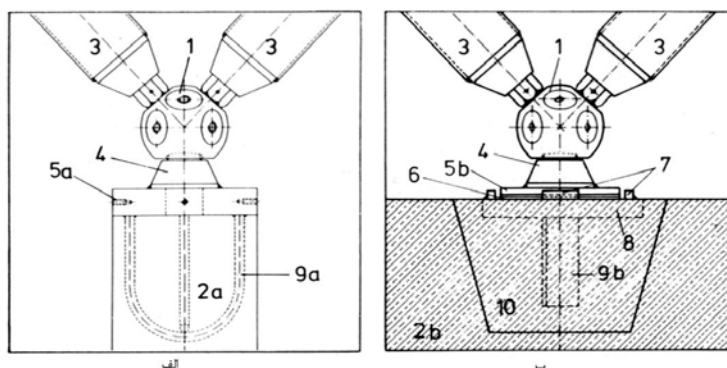
شکل ۱۱-۴: تکیه‌گاه قابلمه‌ای



شکل ۱۰-۴: تکیه‌گاه الاستومری لایه‌ای

ت - تکیه‌گاه قابلمه‌ای - تکیه‌گاهی است شامل یک استوانه فلزی واقع بر گرده‌ای از الاستومر ساده که در استوانه فلزی دیگری به منظور محدود نمودن حرکت قرار داده شده است (شکل ۱۱-۴).

علاوه بر انواع تکیه‌گاه‌های مورد اشاره در فوق، دستگاه‌ها و اتصالات تکیه‌گاهی متنوع دیگری از نوع فولادی یا از مصالح الاستومر یا ترکیبی از آنها به صورت پیش‌ساخته یا براساس طراحی ویژه در سازه‌های فضاکار مورد استفاده قرار گرفته‌اند و از این جهت محدودیتی برای طراحان در جهت ارزیابی جزییات اجرایی تکیه‌گاهی، متناسب با نیازهای طرح و معیارهای پذیرش متصور نیست. در ارتباط با سیستم‌های تجاری سازه‌های فضاکار نیز اغلب انواع اتصالات تکیه‌گاهی ویژه سیستم مزبور طراحی و به کار گرفته شده است. به عنوان مثال، با توجه به گستردگی کاربرد سیستم متشکل از پیوندهای گوی‌سان مرو در سطح جهانی، نمونه‌هایی از جزییات اجرایی اتصالات تکیه‌گاهی این سیستم از سازه‌های فضاکار در شکل‌های ۱۲-۴ و ۱۳-۴ نشان داده شده‌اند.



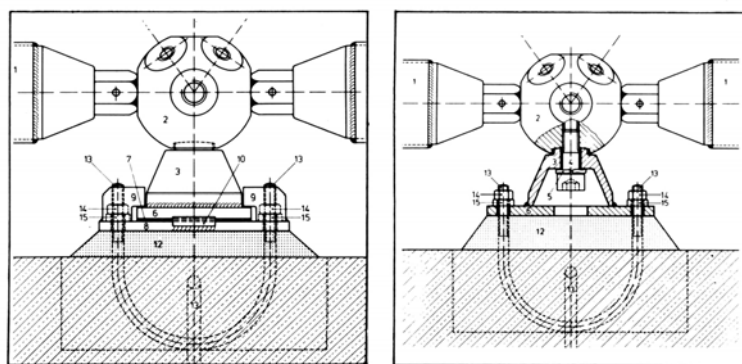
شکل ۱۲-۴: نمونه‌هایی از تکیه‌گاه‌های سیستم مرو مناسب برای تولید انبوه برای سازه‌های فضاکار نسبتاً سبک.

(الف) - تکیه‌گاه مستقر بر ستون بتن آرمه با مقطع دایروی با همسازی حرکت‌های انتقالی در امتدادهای افقی و قائم با تغییر مکان انتهای ستون.

(ب) - تکیه‌گاه مستقر بر دیوار یا سر ستون بتن آرمه با آزادی حرکت نسبی محدود در دو امتداد افقی و فاقد قید در مقابل بلندشدن سازه از تکیه‌گاه.

۱ - پیونده گوی‌سان سیستم مرو؛ ۲a - ستون بتن آرمه با مقطع دایروی؛ ۲b - دیوار یا سرستون بتن آرمه؛ ۳ - عضو قطری؛ ۴ - مخروطی انتهایی؛

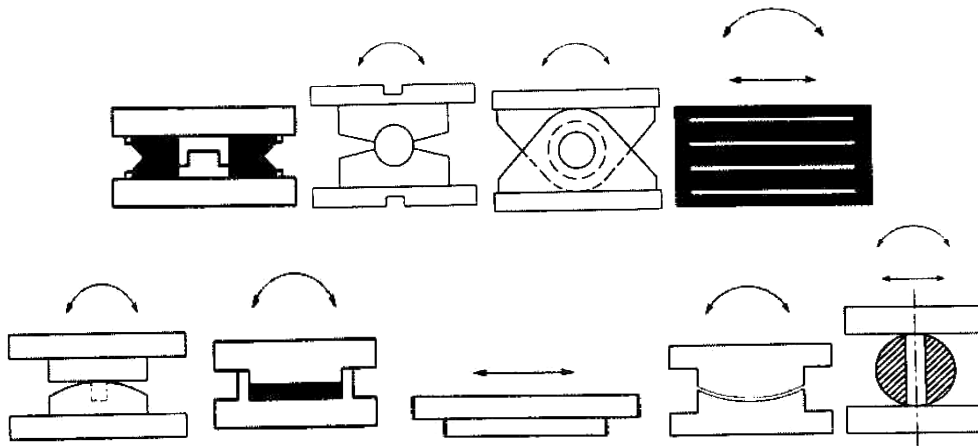
۵a - ورق نشیمن (زیر سری) با سوراخ‌های رزوه شده و میل مهارهای U شکل و سوراخ میانی برای نصب به قالب و ایجاد امکان جادادن بتن ستون و فراهم آوردن مهار لازم در ستون؛ ۵b - ورق نشیمن (زیرسری)؛ ۶ - ورق تفلون؛ ۷ - ضامن برای ایجاد قیود حرکتی در مقابل جابه‌جایی‌های افزون‌تر از فاصله پیش‌بینی شده برای میزان محدود حرکت آزاد؛ ۸ - ورق تکیه‌گاهی؛ ۹a - میل مهارهای U شکل جوش شده به ورق نشیمن؛ ۹b - پروفیل‌های برش‌گیر جوش شده به ورق نشیمن؛ ۱۰ - حفره جاسازی شده برای تنظیم که متعاقباً با بتن روان ریزدانه و مواد افزودنی منبسط شونده پر خواهد شد.



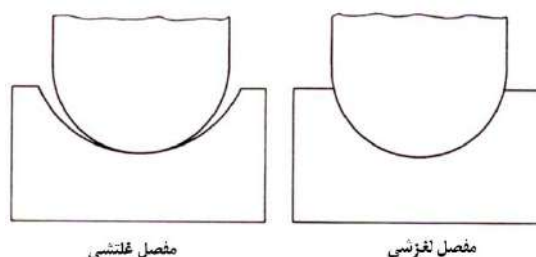
شکل ۴-۱۳ - نمونه‌هایی دیگر از تکیه‌گاه‌های سیستم مرو برای ایجاد امکان دوران محدود در صفحه افقی به میزان مورد نظر.

۱ - عضو لایه تختانی شبکه دو یا چند لایه؛ ۲ - پیونده گوی‌سان مرو؛ ۳ - مخروطی انتهایی؛ ۴ - پیچ با فرو رفتگی در سر پیچ برای سفت شدن با آچار آلن؛ ۵ - واشر فنری؛ ۶ - ورق نشیمن؛ ۷ - تفلون؛ ۸ - ورق تکیه‌گاهی؛ ۹ - ضامن نگهدارنده؛ ۱۰ - ضامن هادی محدود کننده میزان حرکت؛ ۱۱ - ملات (گراوت) زیرسری؛ ۱۲ - میل مهار؛ ۱۳ - مهره؛ ۱۴ - مهره؛ ۱۵ - واشر.

تصاویر شماتیک انواع تکیه‌گاه‌ها و دستگاه‌های تکیه‌گاهی به صورت نمایش داده شده در شکل ۴-۱۴، درجات آزادی انتقالی یا دورانی هر سیستم را ارابه می‌نمایند. لذا در صورتی که نیاز باشد از دستگاه‌های تکیه‌گاهی بهره‌گیری شود، مجموعه دستگاه‌های تکیه‌گاهی به نحو ارابه شده در شکل ۴-۱۴ به عنوان نمونه‌هایی از انواع متنوع ممکن برای حصول به درجات آزادی یا قیود حرکتی یا دورانی مورد نظر می‌تواند مورد توجه طراح قرار گیرد.



شکل ۴-۱۴



شکل ۴-۱۴- بقیه

برای مقاصد متفاوت طراحی و با توجه به میزان بار وارده، میزان جابه‌جایی یا دوران مورد نظر، ابعاد پروژه، عمر مفید و شرایط محیطی و دوام، طراح امکانات متعددی برای انتخاب و طراحی تکیه‌گاه‌های پروژه خواهد داشت و بنابراین به هیچ روی نباید مثال‌های ارائه‌شده در فوق در جهت ممانعت از ابداعات طراح در انتخاب تکیه‌گاه‌ها تعبیر شود. طراح باید از مقاومت و عملکرد مورد نظر تکیه‌گاه طراحی‌شده و امکان ساخت و سهولت ساخت و نگهداری و بازرسی فنی آن اطمینان حاصل نماید.

برای رسیدن به درجه آزادی لازم ممکن است ادغام خصوصیات چند نوع گوناگون دستگاه‌های تکیه‌گاهی ضرورت داشته باشد به طوری که دستگاه تکیه‌گاهی حاصله حرکت‌های لازم و مقاومت در برابر بارهای مربوط را تأمین نماید. به‌عنوان مثال یک تکیه‌گاه لغزشی تخت برای حرکت‌های افقی در ادغام با یک تکیه‌گاه قابلمه‌ای دوران لازم را تأمین می‌کند.

دستگاه‌های تکیه‌گاهی را می‌توان به شرح زیر دسته‌بندی کرد:

۱- تکیه‌گاه‌های الاستومری که شامل الاستومرهای غیرمسلح یا مسلح با فولاد یا الیاف نخی و تار شیشه نیز می‌باشند.

۲- تکیه‌گاه‌های چند دورانی با بار زیاد

تکیه‌گاه‌های قابلمه‌ای، صفحه‌ای و کروی که نوع پیش‌ساخته آن‌ها قابل تهیه است در این طبقه قرار می‌گیرند. در این تکیه‌گاه‌ها با پیش‌بینی صفحات لغزشی (سرشی) می‌توان حرکت انتقالی را نیز تأمین کرد و یا با استفاده از قید مناسب در یک امتداد، حرکت افقی در امتداد متعامد آن را آزاد گذاشت.

۳- تکیه‌گاه‌های مکانیکی

در تکیه‌گاه‌های مکانیکی یا تکیه‌گاه‌های فولادی (که شامل صفحات برنزی نیز می‌باشند) بارها از طریق تماس فلز با فلز منتقل می‌شوند. تکیه‌گاه‌های ثابت که وابسته به یک محور یا یک مفصل هستند، دوران را تأمین می‌کنند و انواع غلتکی، الاکلنگی و لغزشی این تکیه‌گاه‌ها به‌طور معمول در درزهای انبساط بسته به میزان تغییر مکان مورد نظر در درز، به کار گرفته می‌شوند.

تماس فلز با فلز موجب زنگ‌زدگی و در نتیجه قفل شدن اجزای تکیه‌گاه می‌گردد. از اینرو استفاده از آنها بدون لایه ضد زنگ در محیط‌های خورنده تماماً فولاد ضدزنگ مگر در شرایط خاص محیطی توصیه نمی‌شود.

آنچه در این خلاصه مورد اشاره قرار گرفته راهنمایی است که می‌تواند در طراحی کلی تکیه‌گاه‌های سازه‌های فضاکار پوشش دهانه‌های متوسط تا وسیع به کار گرفته شود. برای طراحی، ساخت، نصب، نگهداری، تعمیر یا تعویض دستگاه‌های تکیه‌گاهی به بخش‌های دیگر این آیین‌نامه رجوع شود.

تکیه‌گاه‌ها و دستگاه‌های تکیه‌گاهی باید بر اساس مشخصات فنی طرح به‌طور مستمر مورد بازدید فنی قرار گیرد تا اقدامات نگهداری به موقع صورت پذیرد.

۴-۹- اجزا و پوشاننده‌های غیرسازه‌ای

۴-۹-۱- کلیات

سازه‌های فضاکار شبکه‌ای را می‌توان با یک نوع یا ترکیبی از انواع گوناگون پوشاننده‌ها پوشاند. پوشاننده مناسب با توجه به نیازهای عملکردی پروژه از قبیل کیفیت هواپندی، آب‌بندی، عایق‌بندی حرارتی و صوتی، درزگیری، سایه‌سازی، جنبه‌های زیبایی‌شناسی، دوام و دیدگاه‌های اقتصادی طرح و مقاومت در مقابل کنش‌های وارده انتخاب می‌گردد. هنگامی که پوشاننده در بام‌ها به کار می‌رود علاوه بر قابلیت باربری و جنبه‌های زیباشناختی، زهکشی و جمع‌آوری آب‌های سطحی بام و آب‌بندی پوشاننده حایز اهمیت خواهد بود. در کف‌ها اغلب توانمندی آن در تحمل بارهای وارده از درجه اهمیت زیادی برخوردار است. برای پوشش بدنه‌ها علاوه بر موارد فوق و ایزولاسیون حرارتی زیبایی پوشاننده نیز اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت.

۴-۹-۲- انواع متداول پوشاننده‌های سازه‌های فضاکار

انواع پوشاننده‌ها را می‌توان به شرح زیر دسته‌بندی کرد:

- پوشاننده‌های فلزی (با یا بدون لایه‌های مواد عایق)

- پوشاننده‌های شفاف

- پوشاننده‌های پاشامی

- پوشاننده‌های سیاه (قیری)

- پوشاننده‌های پیش‌ساخته بتنی

- پوشاننده‌های ویژه کف‌ها

- سایر مصالح

از میان پوشاننده‌های یادشده سه مورد پوشاننده‌های فلزی، شفاف و پاشامی ذیلاً مورد اشاره قرار داده شده‌اند.

تفسیر:

پوشاننده‌های فلزی

پوشاننده‌های فلزی در دهه‌های گذشته هم در دیوارها و هم در بام‌ها از پرکاربردترین نوع پوشاننده‌ها بوده‌اند. مهم‌ترین نوع فلزهای به‌کار گرفته‌شده در پوشاننده‌ها از فولاد و آلومینیوم بوده‌اند. فولاد معمولاً کم‌هزینه‌تر بوده و با ضریب انبساط حرارتی کم‌تر دارای برتری‌های اجرایی است. میزان کارایی اندودهای به‌کار گرفته‌شده برای حفاظت در برابر خوردگی در محیط‌های خورنده حایز اهمیت است. در موارد حساس از دیدگاه خوردگی، استفاده از پوشاننده‌های آلومینیومی برتری می‌یابد. اندودهای حفاظتی روی فلزات چه به لحاظ مصالح و چه به لحاظ فن‌آوری اجرا پیشرفت‌های بسیاری کرده است و اجرای اندود نهایی از جنس PVDF و مشابه آن، محافظت پوشاننده‌های نما را آسان نموده است.

پوشانه‌های فازی در شکل‌های گوناگونی ساخته و به‌کار گرفته می‌شوند. شکل‌هایی که به‌طور متداول برای سازه‌های فضاکار مورد استفاده قرار داده می‌شوند، عبارت‌اند از:

- تک لایه ذوزنقه‌ای
- دو لایه ذوزنقه‌ای
- با درزهای ایستاده جذب و جفت
- کامپوزیت‌ها (پانل‌های ساندویچی)

پوشانه‌های شفاف

استفاده از پوشانه‌های شفاف به دلایل زیر رو به گسترش است:

- ۱- کاهش بار انرژی با استفاده از نور طبیعی در برابر نور الکتریکی،
- ۲- استفاده از گرمای خورشیدی و کاهش بار انرژی گرمایشی،
- ۳- تنوع بیشتر مصالح شفاف موجود برای بهینه‌سازی استفاده از آفتاب،
- ۴- پیدایش سیستم‌های سازه‌ای جدید به عنوان نگهدارنده پوشانه‌های شفاف در بام و دیوار،
- ۵- استفاده بیشتر از منظر با دیواره‌های شیب دار یا قائم شفاف.

ایجاد تعادل بین توان نورگیری طبیعی روز و تبادل حرارتی فضای داخل و خارج که با معیار افزایش یا کاهش انرژی گرمایشی یا سرمایشی لازم سنجیده می‌شود، عامل مهمی در استفاده از پوشانه‌های شفاف می‌باشد. در این مورد باید به نقش آرامش‌بخش نور طبیعی نیز بها داده شود.

پوشانه‌های شفاف را می‌توان به شرح زیر دسته‌بندی کرد:

- شیشه
- پلی‌کربنات
- آکرلیک

پوشانه‌های پاشامی

با پیشرفت در تولید بافته‌های مرغوب با مقاومت زیاد در چند دهه اخیر پیشرفت قابل توجهی در زمینه کاربرد آنها به عنوان مصالح ساختمانی پیش آمده است و به این ترتیب سازه‌های سنتی چادری تجدید حیات یافته و فن‌آوری سازه‌های پاشامی که خود نوعی از سازه‌های فضاکار است، ایجاد شده است. یکی از کاربردهای مصالح پاشامی پوشاندن سازه‌های فضاکار شبکه‌ای است. با توجه به سوگردانی مناسب این نوع پوشانه‌ها هنگامی که سازه فضاکار سالن با دهانه بزرگی با آنها پوشانده می‌شود در داخل فضای پوشیده‌شده نور روز به نمایش گذاشته‌شده و در شب نیز نورپردازی داخل بنا تجلی‌گر بوده و زیبایی بخش محیط می‌باشد.

پوشانه‌های پاشامی را می‌توان به صورت تک‌لایه یا چندلایه به‌کار برد که در حالت اخیر عایق حرارتی لازم را نیز می‌توان تأمین کرد. نوع چندلایه می‌تواند باد شده انتخاب گردد. به نحوی که قطعات باد شده مدوله برای پوشش چشمه‌های سازه فضاکار به‌کار گرفته شود. با توجه به قابلیت انعطاف این نوع از پوشانه‌ها می‌توان آنها را به آسانی در سازه‌های فضاکار بازشو نیز به‌کار گرفت و همچنین طراحی پوشانه به صورت آویخته از سازه فضاکار نیز میسر است به صورتی که امکان جمع‌کردن و بازکردن سریع آن با توجه به تغییرات آب و هوا در فصول و حتی ساعت‌های مختلف تأمین گردد.

پارچه‌های مورد کاربرد در سازه‌های پاشامی را می‌توان در دو رده عمده: (۱) بافته با الیاف تار شیشه و اندود تفلون (۲) بافته پلی‌استر و اندود P.V.C و روکش PVDF رده‌بندی کرد که مقاومت و دوام انواع رده اول بیشتر ولی انواع رده دوم دارای قابلیت انعطاف‌پذیری بیشتری می‌باشند. نوع اخیر به‌عنوان پوشانه سازه‌های فضاکار شبکه‌ای در اغلب موارد مناسب‌تر به‌نظر می‌رسد.

این نوع پوشانه‌ها با تنوع رنگ و تنوع مقاومت امکان انتخاب مناسب را برای کاربردهای گوناگون میسر می‌سازد.

پوشانه‌ها را می‌توان به یکی از روش‌های زیر به سازه فضاکار شبکه‌ای متصل کرد:

- به صورت سطوح باربر که بار وارده را مستقیماً به گره‌ها منتقل می‌کنند.
 - به صورت نوارهای باربر که بار وارده را بوسیله اعضاء خمشی ثانوی به گره‌ها منتقل می‌کنند.
 - به صورت سطوح باربر که بار وارده را در دو امتداد به اضلاع شبکه منتقل می‌کنند.
 - به صورت نوارهای باربر که بار وارده را به اضلاع شبکه منتقل می‌کنند.
- در شبکه‌های با چشمه‌های بزرگ ممکن است یک شبکه ثانویه برای نگهداشتن پوشانه لازم باشد.

۴-۹-۳- مقاومت پوشانه‌ها در مقابل آتش‌سوزی

مقاومت پوشانه‌ها در مقابل آتش‌سوزی باید براساس مشخصات فنی قابل اعتماد کارخانه سازنده یا آزمایش‌های استاندارد مقاومت در برابر آتش‌سوزی ویژه انواع پوشانه‌های متداول، براساس استانداردهای معتبر جهانی صورت گیرد و از عملکرد مورد نظر پوشانه در برابر آتش‌سوزی، اطمینان حاصل گردد. آزمایش‌ها را برحسب مورد و میزان اهمیت می‌توان در مقیاس کوچک یا کامل در مورد پوشانه‌ها انجام داد.

۴-۹-۴- مقاومت پوشانه و اعضا و اجزای نگهدارنده پوشانه در برابر باد

در مواردی که، به دلیل عدم شناخت کافی از رفتار مصالح، پیچیدگی نوع پوشانه یا عدم قطعیت در رفتار اتصالات پوشانه به اعضا و اجزای نگهدارنده پوشانه، صحت نتایج حاصل از مدل‌سازی و تحلیل پوشانه‌های متکی بر اعضا و اجزای نگهدارنده آنها تحت تأثیر فشار یا مکش ناشی از باد مورد تردید باشد، لازم است از طریق آزمایش، کفایت پوشانه‌ها، اعضا و اجزا و اتصالات تکیه‌گاهی آنها از دیدگاه مقاومت و تغییر مکان و ارتعاش مورد بررسی قرار داده شود تا اطمینان حاصل شود که نیات عملکردی تحت تأثیر بار باد در عمر مفید سازه برآورده خواهد شد.

۴-۹-۵- پایایی پوشانه‌ها

انتخاب پوشانه‌ها باید با توجه به شرایط محیطی صورت گیرد و از پایایی پوشانه‌ها برای دوره عمر مفید سازه (با تعمیرات محدود) یا برای دوره عمر پیش‌بینی شده تا تعویض پوشانه‌ها در شرایط محیطی ساختگاه اطمینان حاصل گردد. لذا در شرایط محیطی متفاوت از قبیل سرما، وزش باد، تابش مستقیم خورشید و آثار ناشی از اشعه ماورای بنفش، رطوبت، عوامل شیمیایی، خوردگی و سایر آثار محیطی و جوی پوشانه باید قادر به ایفای عملکرد مورد نظر باشد؛ بدون آنکه هزینه‌های پیش‌بینی نشده‌ای بر بهره‌برداران تحمیل گردد.

۴-۱۰-۱- ملاحظات کلی در طراحی لرزه‌ای سازه‌های فضاکار

۴-۱۰-۱- کلیات

با توجه به سبک بودن و در عین حال سختی و صلبیت قابل ملاحظه شبکه‌های فضاکار و همچنین درجه نامعینی قابل ملاحظه آنها که اغلب مسیرهای متعدد ثانویه برای انتقال بارها را فراهم می‌سازد، سازه فضاکار در مقابل زلزله از ایمنی نسبی افزون‌تری در

قیاس با انواع سازه‌های به اصطلاح سنتی برخوردار است. معذک نباید این مزایا منجر به عدم بذل دقت لازم از سوی طراحان و مسؤولان کنترل طرح در مطالعات مربوط به طراحی لرزه‌ای این سازه‌ها گردد.

از دیدگاه شکل‌پذیری، می‌توان طراحی اعضای فشاری (به‌منظور ممانعت از بروز کمانش کلی) و اتصالات (به‌منظور جلوگیری از شکست نارس یا کمانش موضعی) و همچنین طراحی پیوندها را به نحوی انجام داد که سازه فضاکار رفتار شکل‌پذیری از خود بروز دهد. شرایط ساختگاهی و احتمال بروز روانگرایی باید مورد بررسی قرار داده شده و تدابیر مقتضی در طراحی پی، پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های سازه فضاکار به عمل آید.

در مواردی که طراح مناسب تشخیص دهد، از شیوه‌ها و تمهیدات افزایش‌دهنده میرایی و ایزولاسیون ارتعاشی به قصد کاهش پاسخ دینامیکی سازه می‌توان در بررسی گزینه‌های طراحی بهره جست. در این‌گونه موارد، به‌طور معمول لازم خواهد بود، مدل‌سازی این تمهیدات به‌نحوه واقع‌گرایانه در طراحی مجموعه ملحوظ گردد و از روش‌های تحلیل غیرخطی به‌منظور تعیین پاسخ سیستم بهره‌گیری شود.

با توجه به درجات نامعینی قابل ملاحظه سازه‌های فضاکار شبکه‌ای، انتظار می‌رود مقاومت سازه‌های فضاکار در مقابل گسیختگی پیش‌رونده، در صورت طراحی مناسب، قابل ملاحظه و در نتیجه خطرپذیری لرزه‌ای این سازه‌ها، به‌ویژه با توجه به سبکی وزن و نیروهای اینرسی در قیاس با بسیاری از سیستم‌های سازه‌ای دیگر اندک باشد، با این‌همه بروز ناپایداری دینامیکی ناشی از زلزله در سازه‌های فضاکار، در صورت وقوع، می‌تواند بسته به نحوه هم‌بندی و ویژگی‌های سازه فضاکار منجر به گسیختگی‌های موضعی یا کلی گردد.

۴-۱۰-۲- مبانی طراحی لرزه‌ای

سازه فضاکار باید به نحوی طراحی گردد که در تطابق با سطح خطر زمین‌لرزه و میزان اهمیت سازه، سطح عملکرد تعریف شده‌ای را ارایه نماید. طبعاً ویژگی‌های توپوگرافیک، جغرافیایی و ویژگی‌های ساختگاه نقش بسزایی در انتخاب سیستم و فرم سازه فضاکار خواهند داشت.

۴-۱۰-۲-۱- عملکرد لرزه‌ای

سه سطح عملکرد به شرح زیر ملحوظ گردیده است:

- سطح عملکرد لرزه‌ای ۱- در این سطح عملکرد خدمت‌رسانی بلاوقفه سازه فضاکار مورد نظر می‌باشد.
- سطح عملکرد لرزه‌ای ۲- در این سطح عملکرد، خسارات در حدی محدود گردیده است که برقرار ساختن بهره‌برداری مجدد از سازه در زمان بالنسبه کوتاهی تضمین گردد.
- سطح عملکرد لرزه‌ای ۳- ممانعت از بروز خسارات عمده و حیاتی (جانی)، ممانعت از فروریزی جزئی یا کلی.

در جدول ۳-۴ اهداف عملکردی ملحوظ‌شده در این آیین‌نامه خلاصه گردیده است. در تبیین تراز عملکردی سه جنبه مورد توجه قرار داده شده است: ایمنی، بهره‌برداری و قابلیت بهسازی.

جدول ۴-۳- ترازهای عملکرد لرزه‌ای

| تراز عملکرد لرزه‌ای | ایمنی | خدمت‌رسانی | قابلیت ایمن‌سازی، بهسازی و ترمیم خسارات | |
|---------------------|---|--|--|---|
| | | | کوتاه‌مدت | درازمدت |
| عملکرد لرزه‌ای ۱ | ایمنی جانی و ایمنی در برابر گسیختگی و فروریزش | خدمت‌رسانی در سطح عملکرد قبل از وقوع زلزله | نیازی به تعمیر برای بازیافت شرایط خدمت‌رسانی وجود ندارد. | اغلب، نیاز به بازیابی و انجام تعمیرات جزئی وجود دارد. |
| عملکرد لرزه‌ای ۲ | ایمنی جانی و ایمنی در برابر گسیختگی و فروریزش | قابلیت خدمت‌رسانی محدود با قابلیت بازیافت بالنسبه سریع خدمت‌رسانی به سطح قبل از وقوع زلزله | با اقدامات و عملیات ترمیم اضطراری بازیافت شرایط خدمت‌رسانی میسر خواهد بود. | انجام عملیات بهسازی و تعمیرات دایمی بدون دشواری غیرمتعارف امکان‌پذیر است. |
| عملکرد لرزه‌ای ۳ | ایمنی جانی و ایمنی در برابر گسیختگی و فروریزش | انتظار نمی‌رود قابلیت خدمت‌رسانی متعارف حفظ گردد. | نیاز به بررسی فنی و اقتصادی و اتخاذ تصمیم در مورد بهسازی لرزه‌ای جهت بهره‌برداری کوتاه مدت وجود دارد | نیاز به بررسی فنی و اقتصادی و اتخاذ تصمیم در مورد بهسازی لرزه‌ای جهت بهره‌برداری درازمدت دارد |

جدول ۴-۴- سطوح خطر زمین‌لرزه و عملکرد لرزه‌ای مورد انتظار سازه‌های فضاکار مشمول گروه‌بندی عمر مفید ۳ و ۴

| سازه‌های فضاکار مهم | سازه‌های فضاکار متعارف | |
|----------------------|------------------------|---------------------|
| سطح عملکرد لرزه‌ای ۱ | سطح عملکرد لرزه‌ای ۲ | سطح خطر ۱ زمین‌لرزه |
| سطح عملکرد لرزه‌ای ۲ | سطح عملکرد لرزه‌ای ۳ | سطح خطر ۲ زمین‌لرزه |

جدول ۴-۴ خلاصه دیدگاه‌های مورد نظر در این آیین‌نامه را مورد اشاره قرار می‌دهد.

تفسیر- ایمنی در ارتباط با خسارات جانی تعریف گردیده است و لذا برای برقراری ایمنی باید از فروریزی و ناپایداری و شکست منجر به گسیختگی کلی سازه فضاکار جلوگیری کرد. بهره‌برداری (خدمت‌رسانی) بلاوقفه بر عملکردی دلالت دارد که در آن کاربری معمول سازه فضاکار پس از وقوع زلزله نیز برقرار می‌ماند.

قابلیت خدمت‌رسانی محدود نمایشگر نوع عملکردی است که در آن خسارت در حدی محدود می‌گردد که امکان بهسازی و ترمیم خسارات وارده ناشی از زلزله و در بازه زمانی بالنسبه کوتاه و با هزینه نسبتاً اندک وجود داشته باشد.

۴-۱۰-۲-۲- حالات حدی در طراحی لرزه‌ای مبتنی بر عملکرد

به منظور ارزیابی عملکرد سازه، حالات حدی را باید برای سازه و اعضا و اجزای آن تبیین نمود. پاسخ لرزه‌ای هر یک از اعضای و اجزای به منظور ارضای حالات حدی ذریبط مورد بررسی قرار داده می‌شود.

۴-۱۰-۲-۲-۱- حالات حدی در سطح عملکرد ۱

این حالات باید با این فرض تعیین گردند که پاسخ سیستم کلی سازه در محدوده رفتار الاستیک قرار داشته باشد. لذا حالات حدی مزبور به این ترتیب مشخص می‌گردند که عملکرد متعارف سازه پس از وقوع زلزله نیز برقرار باشد و بنابراین محدوده خسارات به میزان حداقل یا ناچیز خواهند بود. بر این اساس معیارهای حالات حدی برای هر یک از اعضا و اجزا به نحوی تعیین می‌گردند که پاسخ لرزه‌ای در ارتباط با هر یک از آنها در حیطه رژیم الاستیک رفتار باقی بماند.

۴-۱۰-۲-۲-۲- حالات حدی در سطح عملکرد ۲

حالات حدی در این سطح عملکرد باید به نحوی تعیین گردند که میزان تغییرشکل‌های پلاستیک در آن‌ها محدود به آن دسته از اعضای سازه‌ای باشد که به منظور این رفتار پیش‌بینی گردیده‌اند. این حالات حدی به منظور حصول اطمینان از امکان برقراری سریع عملکرد و خدمت‌رسانی سازه پس از وقوع زلزله منظور می‌گردند. به این ترتیب بهره‌گیری از اعضا و اجزایی که به نحو اطمینان بخشی قابلیت جذب انرژی کرنشی پلاستیک داشته و امکان تعمیر (یا تعویض) آن‌ها به سهولت میسر باشد، توصیه می‌گردد. با انتخاب این نوع از اعضا و اجزا و همچنین اعضا و اجزایی که از نظر ظرفیتی باید حفاظت گردند، حالات حدی اعضا و اجزای متفاوت تبیین می‌گردند. توصیه می‌شود پایه‌ها به نحوی طراحی شوند که قابلیت جذب انرژی قابل‌ملاحظه‌ای داشته باشند. در مورد تکیه‌گاه‌های دارای قابلیت ایزولاسیون ارتعاشی، حالات حدی سایر اعضا را باید به نحوی در نظر گرفت که جذب انرژی به صورت قابل اطمینانی در تکیه‌گاه‌های مزبور صورت گیرد.

۴-۱۰-۲-۳- حالت حدی برای سطح عملکرد ۳

در حالت حدی متناظر با سطح عملکرد ۳، ضمن آنکه امکان بروز تغییرشکل‌های پلاستیک را باید به آن دسته از اعضای سازه فضاکار محدود نمود که به منظور رفتار فرا الاستیک طراحی شده‌اند، لازم است تغییرشکل‌های خمیری از ظرفیت تغییرشکل خمیری عضو تجاوز نمایند. این حالت حدی به منظور ممانعت از بروز فروریزی یا خسارات عمده و حیاتی تعیین گردیده است. حالت حدی اعضایی که مجاز به رفتار پلاستیک می‌باشند را باید به روشنی تبیین نمود.

۴-۱۰-۳- روش ارزیابی عملکرد لرزه‌ای

در مورد سازه‌های منتظم، ارزیابی و کنترل طراحی به روش استاتیکی معادل به شرح مندرج در فصل سوم، با رعایت تمامی محدودیت‌های ذکر شده بر اساس دیدگاه‌های مبتنی بر ضریب زلزله و ضرایب رفتار سازه، به عنوان روش ارزیابی اولیه تحت تأثیر مؤلفه افقی آثار ناشی از زلزله قابل اعمال می‌باشند.

در مورد سازه‌هایی که رفتار لرزه‌ای آن‌ها بغرنج پیش‌بینی می‌گردد، لازم است روش ارزیابی دینامیکی به کار گرفته شود. در این آیین‌نامه سازه‌های فضاکار دارای رفتار لرزه‌ای بغرنج شامل موارد زیر می‌باشند:

- مودهای ارتعاش اصلی سازه با آنچه از روش ارزیابی استاتیکی قابل استنتاج است، مشخصاً متفاوت باشند.
- بیش از یک مود اساسی به صورت مسلط در پاسخ لرزه‌ای دخیل باشند. در مورد سازه‌های فضاکار معمولاً تعداد قابل ملاحظه‌ای مود ارتعاش در پاسخ مشارکت می‌نمایند.
- در ارزیابی به منظور بررسی سطح عملکرد متناظر با سطح خطر ۲ زمین‌لرزه یا احتمال تشکیل لولاهای پلاستیک تجمعی وجود داشته باشد یا اصولاً نتوان موقعیت و لولاهای پلاستیک را با تقریب قابل قبولی تعیین نمود.

- کاربرد اصل بقای انرژی (انرژی ثابت) براساس مشخصه‌های رفتاری غیرخطی اعضا و اجزا یا کل سیستم سازه از قابلیت اعتماد مکفی برخوردار نباشد.

۴-۱۰-۴- جنبه‌های رفتاری سازه از دیدگاه میزان شکل‌پذیری و قابلیت استهلاک انرژی

۴-۱۰-۴-۱- سازه با رفتار شکل‌پذیر

در ناحیه‌های با لرزه‌خیزی متوسط و زیاد، معمولاً از جنبه‌های اقتصادی و ایمنی ارجحیت دارد که سازه برای قابلیت ارایه رفتار شکل‌پذیر طراحی گردد و برای آن تمهیدات قابل اعتمادی جهت استهلاک بخش عمده‌ای از انرژی وارده ناشی از زلزله شدید، تأمین شود. این هدف با ممانعت از بروز کماتش یا شکست یا ایجاد امکان بروز تغییرشکل‌های پلاستیک در نقاط و مواضعی از سازه و یا از طریق تأمین قابلیت جذب انرژی در اتصالات و یا به‌کارگیری تمهیدات میراگر و ایزولاسیون ارتعاشی قابل حصول است.

۴-۱۰-۴-۲- سازه با شکل‌پذیری محدود

در چارچوب این معیار رفتاری، تحت تأثیر زلزله طراحی، پلاستیسیته گسترده اتفاق نمی‌افتد. البته معمولاً این سازه‌ها با قابلیت رفتار شکل‌پذیر به میزان محدود و لذا توانایی ارایه رفتار فرا الاستیک در حد محدود، قابلیت استهلاک میزان محدودی از انرژی را دارا می‌باشند.

در مورد سازه‌هایی که در آن‌ها پاسخ لرزه‌ای شامل موده‌های بالاتر از مود اساسی می‌گردد یا حالتی که جزئیات اجرایی به نحوی طراحی یا اجرا شده باشند که امکان بروز پلاستیسیته به میزان محدود مورد تردید باشد، ارجحیت دارد رفتار سازه را الاستیک فرض نماییم.

۴-۱۰-۴-۳- طراحی مفهومی

اصول طراحی مفهومی لرزه‌ای سازه‌های فضاکار معیارهای افزوده‌ای را در ارتباط با میزان شکل‌پذیری و قابلیت استهلاک انرژی در قیاس با سازه‌هایی که در معرض کنش‌های ناشی از زلزله نمی‌باشند، ایجاد می‌نماید. بنابراین ضوابطی برای طراحی جزئیات اجرایی متناسب با میزان شکل‌پذیری موردنظر و رفتار مورد انتظار در چارچوب طراحی مفهومی لرزه‌ای ملحوظ می‌گردد. در مورد سازه‌های واقع در مناطق با لرزه‌خیزی زیاد و بسیار زیاد، علاوه بر رعایت اصول صحیح طراحی مفهومی لرزه‌ای به قصد تأمین رفتار شکل‌پذیر، لازم است جزئیات طراحی تفصیلی نیز به دقت تهیه و ارایه گردد.

۴-۱۰-۴-۴- سازه مجهز به سیستم‌های میراگر

در این سازه‌ها، از طریق ایزولاسیون ارتعاشی یا به‌کارگیری تمهیدات استهلاک‌دهنده انرژی، پاسخ لرزه‌ای سازه تحت کنترل قرار داده می‌شود. در چنین سازه‌هایی، تغییرشکل‌های غیرخطی باید به‌طور عمده در مواضع ویژه و محدود و یا تمهیدات میراگر متمرکز گردند.

۴-۱۰-۵- شرایط خاک

در حالت مطلوب انتظار می‌رود، ویژگی‌های ژئوتکنیکی لـرزه‌ای ساخـتگاه و ماهیت خاک زیر شالوده سازه فضاکار نشانگر منتفی‌بودن احتمال غالب شکست خاک، ناپایداری شیروانی‌ها و احتمال بروز روانگرایی و فرونشست و گسترش جانبی خاک باشد. به عبارت دیگر، در انتخاب ساختگاه مناسب باید مطالعات مکانیک و دینامیک خاک ویژه ساختگاه نشانگر عدم احتمال قابل‌توجه بروز چنین پدیده‌هایی باشد. در غیر این صورت، لازم است مطالعات ویژه مکانیک و دینامیک خاک و در صورت لزوم بهسازی خاک صورت گیرد.

۴-۱۰-۶- فلسفه بارگذاری، تحلیل و طراحی آثار ناشی از زمین‌لرزه

فلسفه بارگذاری آثار ناشی از زمین‌لرزه مبتنی بر پهنه‌بندی منطقه و نوع خاک ساختگاه قابل قبول بوده و سه عامل مهم مؤثر در ویژگی‌های حرکت زمین به شرح زیر در مطالعات مورد توجه قرار داده می‌شوند:

الف) یک پارامتر مرتبط با حرکت زمین (به‌ویژه بیشینه شتاب حرکت زمین)،

ب) طول مدت زمان حرکت نیرومند زمین و

پ) محتوای بسامدی (از دیدگاه مقایسه بین بسامد حرکت زمین و بسامدهای طبیعی ارتعاش سازه).

برای تعیین ویژگی‌های زمین‌لرزه طراحی و پاسخ سازه، روش‌های زیر را می‌توان مورد استفاده قرار داد:

• مدل تصادفی، مبتنی بر دیدگاه‌های احتمال‌اندیشانه (شایدی) که در این آیین‌نامه به‌صورت طیف‌نمایی توصیه می‌گردد.

• مدل تعیینی (بایدی)، شامل:

الف- تحلیل دینامیکی؛

- تحلیل تاریخچه زمانی خطی، هرگاه پاسخ خطی تصویر واقع‌گرایانه‌ای از رفتار را ارائه نماید.

- تحلیل طیف پاسخ غیرخطی، هرگاه پاسخ سازه فضاکار دارای رفتار غیرخطی مسلط بوده یا از تمهیدات دارای

میرایی قابل ملاحظه بهره‌گیری شود.

ب- روش‌های مبتنی بر نیروی‌های استاتیکی معادل (روش تجربی)، برای دسته‌ای از سازه‌های فضاکار منتظم با رعایت

محدودیت‌هایی که در فصل سوم تشریح شده است؛ جهت ارزیابی اولیه آثار ناشی از مؤلفه افقی زمین‌لرزه.

طراحی لرزه‌ای با هدف ارضای ملزومات اساسی زیر صورت می‌گیرد:

الف- معیارهای مرتبط با ملزومات عدم فروریزی (حالات حدی نهایی مرتبط با آستانه فروریزش)

ب- معیارهای مرتبط با ملزومات محدودیت میزان خسارت (در ارتباط با حالات حدی بهره‌برداری و ترازهای عملکردی موردنظر)

معیارهای مرتبط با ملزومات محدودیت میزان خسارت و حالات حدی بهره‌برداری مربوط و همچنین معیارهای پذیرش در هر حالت،

در فصول دیگر این آیین‌نامه تشریح گردیده‌اند.

۴-۱۰-۷- ترکیب آثار ناشی از زلزله با سایر عوامل

در طراحی در چارچوب حالات حدی و روش ضرایب پاره‌ای کنش‌ها، نیروهای اینرسی آثار ناشی از زمین‌لرزه طراحی با در نظر گرفتن حضور جرم‌های مرتبط با تمامی بارهای ثقلی محتمل محاسبه می‌شوند. مقادیر طراحی آثار ناشی از کنش‌های دارای احتمال اعمال همزمان با اثر زلزله به صورت زیر با آثار ناشی از زلزله ترکیب می‌گردند:

$$E_d = \sum G_{k,j} + \sum \Psi_{E,i} Q_{k,i} \quad (۴-۱۲)$$

که در آن:

$G_{k,j}$: مقدار مشخصه عامل دایمی j ،

$Q_{k,i}$: مقدار مشخصه عامل متغیر i ،

$\Psi_{E,i}$: ضریب ترکیب بار برای عامل متغیر i .

مقادیر ضرایب ترکیب بار $\Psi_{E,i}$ بسته به نوع سازه از آیین‌نامه‌های بارگذاری مرتبط قابل استخراج است.

۵

تحليل

۵-۱- تعریف

تحلیل فرایندی است که طی آن می‌توان پاسخ سازه را تحت تأثیر کنش‌ها با دقت و قابلیت اطمینان موردنظر پیش‌بینی کرد. به این منظور لازم است مبانی تحلیل، مدل‌سازی و روش‌های تحلیل برای رسیدن به پاسخ واقع‌گرایانه سازه تحت تأثیر کنش‌های محتمل متناسب با هر پروژه به نحو قابل اعتمادی تعیین شوند. برای رسیدن به اهداف مطلوب از تحلیل سازه مورد نظر، فرایند و نتایج تحلیل باید به گونه‌ای مناسب مورد صحت‌سنجی قرار گیرند.

۵-۲- مبانی تحلیل

۵-۲-۱- کنش‌های طراحی

۵-۲-۱-۱- کنش‌های طراحی که در تحلیل باید مورد نظر قرار گیرند، شامل کنش‌ها و آثار محیطی وارده بر سازه مطابق فصل سوم این آیین‌نامه تعیین می‌شوند.

در موارد کمبود، به ضوابط آیین‌نامه‌های معتبر نظیر استاندارد شماره ۵۱۹ ایران، مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران و سایر آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی ویژه سازه‌های با کاربری موردنظر مراجعه شود.

۵-۲-۱-۲- کنش‌های محاسباتی متفاوت باید با توجه به احتمال هم‌زمان بودنشان با یکدیگر ترکیب شده و در بارگذاری منظور شوند. در ترکیب عوامل و بارهای محاسباتی باید نامساعدترین وضعیت‌های محتمل بارگذاری مطابق مطالب مندرج در فصل چهارم به کار برده شوند.

۵-۲-۱-۳- کنش‌ها محاسباتی وارد بر سازه در مواردی که با ضرایب جزیی ایمنی و مقاومت در حالت حدی بهره‌برداری تشدید شده‌اند، بارهای "بهره‌برداری" و در مواردی که با ضرایب جزیی ایمنی و مقاومت در حالت حدی نهایی تشدید شده‌اند، بارهای "نهایی" نامیده می‌شوند. جزییات این ضرایب در فصل چهارم ارایه شده است.

۵-۲-۲- آثار ناکاملی

یکی از عواملی که در رفتار برخی از سازه‌های فضاکار تأثیر به‌سزایی دارد، آثار ناکاملی می‌باشد. در حالت کلی، ناکاملی به انحراف از حالت سازه کامل (بدون نقص) اطلاق می‌شود.

۵-۲-۲-۱- دسته‌بندی ناکاملی‌ها

ناکاملی‌ها را با توجه به ماهیت آنها، می‌توان به ناکاملی‌های هندسی و مکانیکی دسته‌بندی نمود.

۵-۲-۲-۱-۱- ناکاملی‌های هندسی

ناکاملی‌های هندسی مربوط به هندسه سازه می‌باشند که در ارتباط با اعضا و اتصالات تعریف می‌شوند و ناشی از بی‌دقتی در ساخت و یا نصب اعضا و اجزای سازه فضاکار می‌باشند.

الف) در ارتباط با اعضا: انحنای اولیه اعضا،

ب) در ارتباط با اتصالات: انحراف از هندسه ایده‌ال و برون محوری.

۵-۲-۱-۲-۲- ناکاملی‌های مکانیکی

ناکاملی‌های مکانیکی، مربوط به خصوصیات مکانیکی و شرایط بارگذاری سازه می‌باشند و عبارت‌اند از:
 الف) تنش‌های پسماند ناشی از نورد، برش کاری، جوش کاری؛
 ب) خروج از مرکزیت‌های اتفاقی در بارهای وارده؛
 پ) نیروهای اضافی اعضا، ناشی از عدم انطباق.

۵-۲-۲-۲- بررسی ناکاملی‌ها**دسته‌بندی حساسیت سازه‌ها نسبت به آثار ناکاملی‌ها**

هندسه سازه فضاکار، شرایط بارگذاری، پاسخ سازه در برابر بارگذاری و نوع رفتار ناپایداری آن تاثیر بسزایی در میزان حساسیت سازه فضاکار در برابر آثار ناکاملی دارند. با توجه به میزان حساسیت به ناکاملی‌ها، سازه‌های فضاکار را می‌توان در دو رده طبقه‌بندی نمود:

الف) سازه‌های حساس به ناکاملی‌ها: در این سازه‌ها، اثر ناکاملی‌ها بر پاسخ سازه مشهود بوده و به‌ویژه بار حدی سازه را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهند.

ب) سازه‌های غیرحساس به ناکاملی‌ها: در این سازه‌ها، ناکاملی‌ها به میزانی می‌باشند که اثر چندانی بر پاسخ سازه نداشته و به‌ویژه بار حدی سازه را به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار نمی‌دهند.

۵-۲-۲-۳- ماهیت تصادفی ناکاملی‌ها

در حالت کلی ناکاملی‌ها در سازه‌های فضاکار با توجه به نوع، میزان، مکان و توزیع ناکاملی‌ها ماهیت تصادفی دارند. از اینرو رفتار سازه فضاکار در اثر ناکاملی‌ها از طریق تحلیل‌های مناسب احتمالاتی - تصادفی قابل مطالعه است. روش تحلیل مونته کارلو در این ارتباط کارایی و توانمندی کافی داشته و برای تعیین میزان حساسیت سازه‌های فضاکار در برابر ناکاملی به عنوان روشی مؤثر توصیه می‌شود. با این حال می‌توان آثار ناکاملی - به‌ویژه ناکاملی‌های هندسی - را به‌طریقه‌ای بایدی (تعیینی) به سازه‌های فضاکار اعمال نمود.

۵-۲-۲-۴- نحوه اعمال آثار ناکاملی‌های هندسی

انحنای اولیه اعضا و انحراف پیوندهای سازه‌های فضاکار از هندسه ایده‌ال را می‌توان به روش‌های بایدی (تعیینی) به سازه‌های فضاکار اعمال نموده حساسیت پاسخ سازه به آثار این نوع از ناکاملی را مورد سنجش قرار داد.

۵-۲-۲-۴-۱- نحوه اعمال انحراف اولیه اعضا

به‌طور معمول در تحلیل‌های غیرخطی به‌ویژه در تحلیل‌های حدی نهایی سازه‌های فضاکار، انحنای جانبی عضو را به صورت متقارن به عنوان ناکاملی در نظر می‌گیرند. اعمال این ناکاملی به ویژه برای اعضای فشاری بحرانی در سازه‌های فضاکار دو و چند لایه الزامی است. اعضای بحرانی، به اعضایی اطلاق می‌شود که در تحلیل حدی نهایی کمترین حاشیه ایمنی را داشته باشند. مقدار بیشینه ناکاملی در وسط طول عضو بحرانی فشاری سازه فضاکار مطابق رواداری مجاز تعیین شده در مبحث یازدهم مقررات ملی

ساختمان ایران به میزان $\frac{1}{1000}$ برابر طول عضو در نظر گرفته می‌شود. برای فرم انحنای یافته عضو فشاری می‌توان از توابع مناسبی که ویژگی‌های هندسی ناکاملی را به‌نحو واقع‌گرایانه‌ای ارائه داده و شرایط سرحدی را ارضا نمایند، استفاده نمود.

۵-۲-۲-۲-۲-۵ نحوه اعمال انحراف گره‌ها از هندسه ایده‌ال

الف) برای تحلیل حساسیت نسبت به انحراف گره‌ها از هندسه ایده‌ال، معمولاً یک تحلیل کمانشی برای سازه ایده‌ال انجام می‌گیرد و موده‌های غالب کمانشی تعیین می‌گردند. سپس تحلیل سازه ناکامل با فرض این که ناکاملی هندسی آن، متناظر با موده‌های کمانشی است، انجام می‌گردد. میزان ناکاملی متناسب با هندسه سازه، نحوه بارگذاری، شرایط تکیه‌گاهی و غیره تعیین می‌شود.

ب) باید توجه داشت که مود ناکاملی اولیه بحرانی، الزاماً همان مود کمانشی نمی‌باشد. به عبارت دیگر، ممکن است مود ناکاملی که بیشترین میزان کاهش در ظرفیت باربری سیستم سازه‌ای را ایجاد نماید، مود دیگری غیر از مود اولیه کمانش باشد. بنابراین شناخت موده‌های بحرانی حایز اهمیت است.

پ) ناکاملی‌های هندسی (به‌ویژه انحراف اولیه گره‌ها) باعث تحریک موده‌های نامتقارن کمانشی می‌شوند و به همین دلیل معمولاً هنگام بررسی حساسیت به ناکاملی سازه‌ها، موده‌های نامتقارن نیز باید در نظر گرفته شوند، لیکن برخی از تاشه‌های سازه‌ای به ناکاملی‌های متقارن بیش از ناکاملی‌های نامتقارن حساس هستند. از اینرو، تحلیل حساسیت به ناکاملی برای هر دو نوع موده‌های متقارن و نامتقارن مورد مطالعه توصیه می‌گردد.

ت) سازه‌هایی که در تحلیل غیرخطی، ناپایداری با انشعاب دو شاخگی از خود بروز می‌دهند، حساسیت بیشتری نسبت به ناکاملی‌های هندسی (به‌ویژه از نوع انحراف گره‌ها) در مقایسه با حالت ناپایداری در نقطه حدی دارند. لذا حساسیت‌سنجی نسبت به ناکاملی‌ها در این‌گونه سازه‌های فضاکار مخصوصاً سازه‌های تک‌لایه گنبدی- به‌ویژه در طراحی حالت حدی نهایی الزامی است.

۵-۲-۲-۲-۵ نحوه اعمال آثار ناکاملی‌های مکانیکی

تنش‌های پسماند، خروج از مرکزیت‌های بارها، نیروهای اضافی ناشی از نامیزانی، به عنوان ناکاملی‌های مکانیکی، به‌طور عمده مطابق با بند ۵-۲-۲-۳ اعمال می‌شوند. لیکن در صورت موجود بودن اطلاعات لازم، می‌توان این ناکاملی‌ها را به روش‌های بایدی (تعیینی) به سازه‌های فضاکار اعمال نمود.

۵-۲-۲-۲-۵-۱ آثار ناشی از نامیزانی

کنش‌های ناشی از نامیزانی اعضا مطابق با بند ۳-۱-۳-۴-۹ به سازه‌های فضاکار اعمال می‌شود. در این ارتباط، توجه به چند نکته ضروری است:

الف) سازه‌های فضاکار با توجه به ویژگی‌های هندسی، نوع سیستم، اتصالات، تعداد و شرایط تکیه‌گاهی و همچنین نوع ساخت و بافت، حساسیت‌های متفاوتی به نامیزانی از خود بروز خواهند داد. لذا تحلیل به قصد مطالعه آثار نامیزانی باید با توجه به منشأ بروز نامیزانی صورت گیرد.

ب) شناسایی اعضای بحرانی برای اعمال کنش‌های ناشی از نامیزانی ضروری می‌باشد. به‌طور معمول برای اعضای بحرانی، میزان نامیزانی متناظر با $\frac{1}{1000}$ طول عضو در نظر گرفته می‌شود. در حالت کلی، نامیزانی بیش از این مقدار مجاز نمی‌باشد. در صورتی که در مواردی نامیزانی عضو بیش از مقدار مجاز باشد، آثار نامیزانی باید از طریق تحلیل غیرخطی مورد بررسی قرار داده شود.

۵-۲-۲-۵- آثار تنش‌های پسماند

الف) برای اعمال تنش‌های پسماند به سازه‌های فضاکار فولادی باید از مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران یا آیین‌نامه معتبر دیگری تبعیت شود.

ب) در صورت وجود شناخت از مکان و میزان تنش‌های پسماند و آثار قابل توجه آن که در حین ساخت، بافت و اجرای قطعات و کل سازه فضاکار ایجاد می‌شود، اعمال این آثار به نحوی واقع‌گرایانه در تحلیل توصیه می‌شود.

۵-۲-۲-۳- آثار ناشی از برون محوری بار

الف) هرگاه در مدل‌سازی و تحلیل آثار ناشی از انحراف پیوندها از هندسه ایده‌آل به عنوان ناکاملی هندسی اولیه در نظر گرفته شده باشد، معمولاً این آثار شامل اثر برون محوری نیز می‌شود مگر آن که هندسه اتصال به‌گونه‌ای باشد که اعمال بار به‌صورت برون محور را علاوه بر آثار مزبور ایجاب نماید.

ب) در سایر موارد، با شناخت مکان اعمال و میزان برون محوری‌های بارها در شرایط متفاوت بارگذاری (به‌ویژه بارهای زنده)، اعمال آثار ناشی از برون محوری بار در تحلیل الزامی می‌باشد.

۵-۲-۳- آثار انعطاف‌پذیری اتصالات و پیوندها

اتصالات با توجه به رفتار خود آثار مهمی در رفتار کلی سازه دارند. به‌این منظور لازم است به نحو واقع‌گرایانه‌ای در تحلیل مدل‌سازی شوند. در اینجا منظور از انعطاف‌پذیری اتصالات، میزان انعطاف‌پذیری اتصال عضو به پیونده از دیدگاه میزان انتقال لنگر خمشی در اتصال است. از سوی دیگر، لازم است اثر انعطاف‌پذیری و تغییرشکل پیوندها به‌ویژه پیوندهای نوع نیامی (توخالی) و پیوندهای دارای ادوات اتصال صفحه‌ای را با شناسایی رفتار پیونده به روش تحلیلی یا آزمایشگاهی در محاسبات ملحوظ نمود.

۵-۲-۳-۱- دسته‌بندی اتصالات از دیدگاه میزان انتقال لنگر بین اعضا و پیوندها

اتصالات بسته به نوع و مقدار تغییرشکل‌های ممکن در آنها که می‌تواند رفتار سازه را تحت تأثیر قرار دهد، به سه رده اصلی تقسیم می‌شود:

- الف) اتصالات مفصلی
- ب) اتصالات نیمه صلب
- پ) اتصالات صلب

اتصال مفصلی به اتصالاتی اطلاق می‌شود که انتهای اعضای متصل به آن دارای دوران آزاد و حرکت انتقالی یکسان باشند. اتصال صلب به اتصالاتی اطلاق می‌شود که انتهای اعضای متصل به آن دارای حرکت انتقالی و دورانی یکسان باشند. اتصال نیمه‌صلب به اتصالاتی اطلاق می‌شود که انتهای اعضای متصل به آن دارای حرکت انتقالی یکسان ولی دوران نسبی بینین حالات آزاد و صلب باشند.

۵-۲-۳-۲- انتخاب نوع اتصال

از آنجاکه نوع اتصال در توزیع نیروها در یک سازه مؤثر می‌باشد، انتخاب نوع اتصال باید با ملاحظات کافی و با در نظر گرفتن اثر آنها بر رفتار سازه انجام پذیرد. برخی از این ملاحظات عبارت‌اند از:

الف) در انتخاب نوع اتصال، بسته به ویژگی‌های هندسی، تعداد لایه‌ها، نوع سیستم، نوع تحلیل (اعم از خطی یا غیرخطی)، سطح بارگذاری و معیارهای طراحی می‌توان اتخاذ تصمیم نمود.

ب) در صورتی که شاخص اتصال (مطابق پیوست شماره ۳) کوچک‌تر از $0/۲$ باشد اتصال را می‌توان مفصلی فرض کرد.

پ) در صورتی که شاخص اتصال (مطابق پیوست شماره ۳) بزرگ‌تر از $0/۸$ باشد اتصال را می‌توان صلب فرض کرد.

ت) در تحلیل خطی، در صورتی که نسبت بسامد غالب سازه در دو حالت فرض رفتار مفصلی و صلب اتصالات، به واحد نزدیک باشد، اتصال را می‌توان مفصلی فرض کرد (این حالت در مورد گروه‌هایی از سازه‌های فضاکار شبکه‌ای دو و چندلایه صادق است).

ث) در برخی از سازه‌ها نظیر شبکه‌های تک‌لایه گنبدی و چلیکی با خیز کم، صلبیت اتصال حایز اهمیت اساسی می‌باشد.

۵-۳-۳-۲- آثار رفتار اتصالات

صلبیت خمشی اتصال بر شرایط سرحدی دو انتهای عضو تأثیرگذار بوده و در ضریب طول مؤثر عضو و در نتیجه نسبت لاغری عضو اثر داشته و به این ترتیب در طراحی اعضای فشاری تأثیرگذار خواهد بود. به عنوان مثال اتصال عضو به پیونده با رفتار نزدیک به صلب می‌تواند منجر به کاهش وزن سازه و آثار قابل ملاحظه مترتبه باشد.

در اتصالات پیچ‌دار سازه‌های فضاکار، میزان سفتی پیچ‌ها می‌تواند اثر گذار باشد. بنابراین میزان سفتی پیچ‌ها با توجه به تعداد، اهمیت، و اثر آنها روی رفتار اعضا، طول مؤثر اعضا و رفتار سازه، تعیین می‌شود.

در ارتباط با تغییرشکل‌های ادوات اتصال و پیونده‌ها، به‌ویژه پیونده‌های نیامی و صفحه‌ای، عدم توجه به آثار این تغییرشکل‌ها در تحلیل و طراحی، احتمال دارد به تخمین غیر واقع‌گرایانه رفتار (پاسخ) مجموعه سازه و اعضا و اجزای سازه منتج گردد.

۵-۲-۴- آثار درجه دوم و رفتار غیرخطی

شناخت منابع غیرخطی در رفتار سازه‌های فضاکار به منظور انتخاب روش مناسب تحلیل، حایز اهمیت است. رفتار غیرخطی سازه‌ها ناشی از اثر غیرخطی هندسی و رفتار غیرخطی مصالح می‌باشد.

در مورد آن دسته از سازه‌های فضاکار (به ویژه سازه‌های تک‌لایه) که دارای رفتار غیرخطی نرم‌شونده می‌باشند، تحلیل خطی، منتج به تخمین پایین دست تغییر مکان‌ها می‌شود. از اینرو، در این نوع سازه‌ها حتی برای مقاصد طراحی در محدوده پیش بحرانی نیز، تحلیل خطی مناسب نمی‌باشد، زیرا ممکن است مقادیر بارهای مجاز که توسط تحلیل خطی به دست می‌آید، باعث بروز تغییر مکان‌های بزرگ و پدیده ناپایداری شود.

۵-۲-۴-۱- عوامل اصلی ایجاد رفتار غیرخطی در سازه‌های فضاکار

در بیشتر موارد سازه‌های فضاکار، رفتار غیرخطی هندسی و مصالح را به‌طور توأم از خود بروز می‌دهند. عوامل اصلی ایجاد رفتار غیرخطی این سازه‌ها عبارت‌اند از:

الف) کوتاه‌شدگی اعضا، ناشی از نیروهای محوری؛

ب) تغییر در طول اعضا، ناشی از کمانش عضوی؛

پ) دوران پیوندها، ناشی از سیستم‌های اتصال؛

ت) تغییر طول اعضا، ناشی از شلی سیستم‌های اتصال؛

ث) تغییر در سختی اعضا، ناشی از رفتار غیرخطی مصالح.

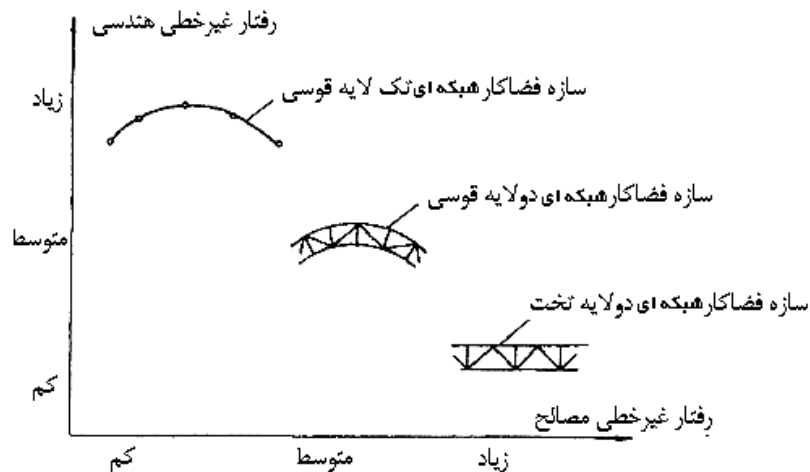
چهار عامل نخست ناشی از عوامل غیرخطی هندسی و عامل پنجم ناشی از آثار رفتار غیرخطی مصالح می‌باشند.

۵-۲-۴-۲- مراتب تأثیر عوامل اصلی در رفتار سازه‌های فضاکار

الف) بسته به نوع سازه (هندسه - سیستم اتصالات)، معیار حدی و سطح بارگذاری موردنظر، باید هر یک از عوامل مذکور به نحو مناسبی انتخاب شده و سپس در تحلیل اعمال شوند.

ب) به عنوان یک معیار اولیه در انتخاب عوامل اصلی، رفتار غیرخطی سازه و در نتیجه انتخاب نوع تحلیل (غیرخطی هندسی صرف، غیرخطی مصالح صرف، غیرخطی توأم هندسی و مصالح)، نمودار زیر می‌تواند راهنمای اولیه مناسبی باشد.

به عبارت دیگر برای گنبدها و چلیک‌های فضاکار شبکه‌ای تک‌لایه، آثار غیرخطی هندسی قابل ملاحظه است، حال آنکه خواص غیرخطی مصالح ممکن است ناچیز باشد. برای شبکه‌های دولایه تخت، خواص غیرخطی مصالح رفتار غیرخطی هندسی را اغلب تحت الشعاع قرار می‌دهند. در مورد سازه‌های فضاکار دولایه گنبدی و چلیکی، هر دو عامل غیرخطی هندسی و مصالح می‌توانند حایز اهمیت باشند.



شکل ۱-۵

۵-۲-۵- تحلیل تجربی تنش‌ها و تغییر شکل‌ها

تحلیل سازه‌های فضاکار را می‌توان براساس ترکیب قانع‌کننده‌ای از محاسبات فنی سازه شامل محاسبات تحلیلی نظری، عددی و شیوه‌های شناخته شده طراحی سازه‌ها و در عین حال بررسی‌های تجربی به نتیجه رساند. به‌طور معمول در مواردی که مدل‌ها و روش‌های محاسباتی قانع‌کننده‌ای برای تحلیل با دقت مورد نظر در دست نباشند، از مشاهدات و داده‌های حاصل از آزمایش بهره‌گیری و استنتاج به عمل می‌آید. برخی ملاحظات عمومی که در تحلیل تجربی تنش‌ها در نظر گرفته می‌شوند عبارت‌اند از:

الف) برحسب نوع عامل و حالت حدی مورد نظر و تراز عملکرد ذیربط لازم است در بهره‌گیری از آزمایش در تعیین کمیت‌های طراحی به سطح معینی از قابلیت اعتماد نایل شد.

ب) مساله عدم قطعیت از نظر آماری به دلیل محدودیت در تعداد آزمایش‌ها باید مد نظر قرار گیرد.

پ) انواع آزمایش‌ها در تناسب با اهداف مطالعات طبقه‌بندی شود.

ت) قبل از انجام آزمایش‌ها لازم است طرح آزمایش در هماهنگی آزمایشگاه یا سازمانی که آزمایش را انجام می‌دهد، تهیه شود که شامل تمامی اهداف آزمایش، جزییات ساخت نمونه‌ها، نحوه انجام آزمایش، شیوه اعمال کنش‌ها و تعیین نوع ابزار، موقعیت و کیفیت و جزییات اندازه‌گیری و ثبت نتایج است.

ث) گزارش آزمایش بر اساس ارزیابی، پردازش و پالایش داده‌ها، تجزیه و تحلیل نتایج همراه با جمع‌بندی ارائه گردد.

ج) تحلیل تجربی تنش‌ها و تغییرشکل‌ها بسته به نیازهای تحلیل و طراحی می‌تواند شامل آزمایشات تجربی مصالح، سیستم اتصال، اعضا، مدول‌ها و مجموعه سازه با توجه به شرایط محیطی و کنش‌های مؤثر باشد.

تبصره: جزییات مربوط به طراحی مبتنی بر آزمایش به تفصیل در فصل هفتم این آیین‌نامه ارائه شده است.

۵-۲-۶- ملاحظات مربوط به حالات حدی متناسب با روش‌های طراحی

سازه‌های فضاکار باید عملکرد خود را مطابق با سطح عملکرد مورد انتظار و تعریف‌شده ایفا نمایند. حالات حدی باید به نحوی انتخاب گردند که تمامی اوضاع و شرایطی که در دوره اجرا و بهره‌برداری سازه قابل پیش‌بینی است، ملحوظ گردیده باشد. حالات حدی به حالاتی اطلاق می‌گردد که با گذر از آستانه آنها، سازه خواسته‌ها و نیازهای بهره‌برداری و عملکردی طرح را ارضا ننماید.

۵-۲-۶-۱- دسته‌بندی حالات حدی

حالات حدی به دو طبقه کلی زیر دسته‌بندی می‌شوند:

الف) حالات حدی نهایی؛

ب) حالات حدی خدمت‌رسانی.

حالات حدی نهایی به حالاتی اطلاق می‌شود که با ایمنی سازه و سکنه و در موارد حایز اهمیت با محتویات سازه سروکار دارد.

حالات حدی خدمت‌رسانی به عملکرد سازه یا اعضا یا اجزای متناسب با کاربری مورد نظر، رفاه بهره‌برداران و وضعیت ظاهری سازه مرتبط می‌باشند.

۵-۲-۶-۲- تشخیص نوع تحلیل با توجه به حالت طراحی مورد نظر

بسته به حالت طراحی مورد نظر حالات حدی نهایی یا حالت حدی خدمت‌رسانی، باید متناسب با آن، تحلیل مورد نظر انتخاب شود.

۵-۳- مدل‌سازی

۵-۳-۱- مدل‌سازی مجموعه

مدل مجموعه سازه فضاکار عبارت‌است از یک مدل مجازی (ریاضی) از سازه واقعی که بتوان با در نظر گرفتن اجزا و عوامل مؤثر در آن، با دقت مناسبی رفتار سازه را پیش‌بینی نمود. مدل‌سازی مجموعه که برای تحلیل به قصد اخذ نتایج قابل اعتماد ضروری می‌باشد، شامل مدل‌سازی اجزای سازه‌ای، مدل‌سازی مکانیکی، مدل‌سازی هندسی، مدل‌سازی کنش‌های مؤثر و مدل‌سازی اجزای به‌ظاهر غیرسازه‌ای در شرایطی که با سازه به‌صورت مختلط عمل می‌نمایند و در رفتار سازه تأثیر گذارند. نکته اساسی در مدل‌سازی پرهیز از انتخاب مدل کاملاً جامع در شروع مراحل تحلیل و طراحی می‌باشد. توصیه می‌شود که مدل‌سازی با مدل‌های ساده‌تر شروع و سپس بسته به دقت مورد نظر از مدل‌های کامل‌تر و پیچیده‌تر استفاده شود.

۵-۳-۲- مدل‌سازی اجزای سازه‌ای

اجزای سازه‌ای به اجزایی اطلاق می‌گردد که نقش باربری در سازه دارند و در فرایند اعمال عوامل و بارهای مؤثر ضمن تحمل بارهای وارده نقش انتقال آنها را به زمین دارند. این اجزای شامل اعضای، پیوندها و اتصالات، تکیه‌گاه‌ها و پوشان‌ها می‌باشند.

۵-۳-۲-۱- مدل‌سازی اعضا: در سازه‌های فضاکار شبکه‌ای، به‌طور معمول اعضا شامل اعضای خرپایی یا اعضای تیر - ستونی می‌باشند.

۵-۳-۲-۱-۱- اعضای خرپایی به اعضای اطلاق می‌گردد که فرض مفصلی بودن ابتدا و انتهای عضو در مورد آنها صادق است. معیار انتخاب مفصلی بودن اتصال در فصل ششم - بند ۶-۳-۲-۱-۱ ذکر شده است. به منظور مدل‌سازی اعضای خرپایی بسته به میزان دقت تحلیل، مشخصات لازم باید در مدل‌سازی لحاظ شود. اگر نوع تحلیل خطی باشد (ر.ک. بند ۵-۴، روش‌های تحلیل)، در این صورت طول عضو، مدول الاستیسیته مصالح، مشخصات سطح مقطع و در صورت نیاز چگالی مصالح عضو در مدل‌سازی تعریف می‌شود.

اگر نوع تحلیل غیرخطی باشد (ر.ک. بند ۵-۴، روش‌های تحلیل)، در این صورت پاسخ سازه‌ای تنش محوری - کرنش محوری عضو بسته به اینکه فشاری یا کششی باشد، باید با استفاده از روش‌های مناسب پیش‌بینی و در مدل‌سازی لحاظ شود.

۵-۳-۲-۱-۲- اعضای تیر ستون به اعضای اطلاق می‌گردند که حداقل یکی از دو انتهای عضو نیمه‌گیردار یا گیردار باشند و نحوه هم‌بندی اعضا به‌گونه‌ای باشد که آثار خمش و برش در آنها قابل اعتنا باشد. معیار انتخاب نیمه‌گیردار یا گیردار بودن اتصال در فصل ششم - بند ۶-۳-۲-۱-۲ ذکر شده است. مشخصات مورد نیاز اعضای مذکور باید مطابق با نظریه تیر- ستون در مدل‌سازی لحاظ گردد. بسته به نوع مقطع، نوع تغییرشکل‌های غالب از نظریه اویلر- برنولی یا نظریه تیموشنکو بهره‌گیری خواهد شد.

۵-۳-۲- مدل سازی پیوندها و اتصالات

اتصالات برحسب نوع و رفتار آنها به سه طریق مدل سازی می‌شود: اتصال مفصلی، اتصال صلب و اتصال گیردار

۵-۳-۲-۱- اتصال مفصلی و صلب بر اساس قیود تغییرشکل در آنها به طور معمول مدل سازی می‌شود.

۵-۳-۲-۲- اتصال نیمه‌صلب به صورت یک عضو مستقل در انتهای عضو و یا به صورت عضو با رفتار اصلاح شده مدل سازی می‌شود. در هر حالت اتصال نیمه‌صلب، بسته به نوع تحلیل و سطح بارگذاری بر اساس رفتار خطی و غیرخطی و به صورت یک فنر متناظر با تغییر شکل مورد انتظار مدل سازی می‌شود.

در صورت قابل اعتنا بودن تغییرشکل‌های ادوات، اجزا و وسایل اتصال و پیوندها، این آثار نیز پس از شناخت ویژگی‌های رفتاری باید به منظور تخمین واقع‌گرایانه رفتار مجموعه سازه و اعضای منتهی به چنین اتصالاتی، ملحوظ گردند. معمولاً چنین آثاری به صورت فنرهای خطی یا در صورت لزوم غیرخطی مدل سازی می‌گردند.

۵-۳-۲-۳- **تکیه‌گاه‌ها:** تکیه‌گاه‌ها بر حسب نوع و رفتار آنها به سه طریق مدل سازی می‌شوند. تکیه‌گاه ساده، تکیه‌گاه صلب و تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر.

۵-۳-۲-۱- تکیه‌گاه ساده و صلب بر اساس قیود تغییرشکل در آنها به طور معمول مدل سازی می‌شوند.

۵-۳-۲-۲- تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر شامل انواع تکیه‌گاه‌های الاستومری، برگه‌ای، قابلمه‌ای و غیره که در فصل چهارم - بند ۸۴ تعریف شده‌اند، مدل سازی می‌شوند. تکیه‌گاه شکل‌پذیر، بسته به نوع تحلیل و سطح بارگذاری بر اساس رفتار خطی و غیرخطی به صورت یک فنر یا مجموعه‌ای از فنرها و یا یک المان متناظر با تغییرشکل‌های ممکن تکیه‌گاه مدل سازی می‌شوند. هرگاه تکیه‌گاه‌ها دارای میرایی قابل توجه باشند، تحلیل غیرخطی مجموعه سازه و تکیه‌گاه تحت تأثیر بارهای دینامیکی و به‌ویژه آثار ناشی از زلزله الزامی است.

۵-۳-۲-۴- **پوشانه‌ها:** پوشانه‌ها در صورتی که به عنوان یک عضو سازه‌ای رفتار نمایند، بسته به نوع مشخصات و رفتار آنها به صورت غشایی یا پوسته‌ای مدل سازی می‌شوند.

۵-۳-۳- **مدل سازی مکانیکی:** مدل سازی مکانیکی به مدل سازی رفتار مصالح و سیستم‌های مکانیکی اطلاق می‌شود.

۵-۳-۳-۱- **مدل سازی رفتار مصالح:** مصالح بسته به نوع تحلیل و سطح و نوع بارگذاری که در بند ۵-۴ آمده است و بر اساس نتایج آزمایش به صورت الاستیک یا فرا الاستیک مدل سازی می‌شوند.

۵-۳-۳-۱- رفتار الاستیک مصالح بر اساس قانون هوک تعیین می‌شود.

۵-۳-۱-۲- رفتار فرا الاستیک بر اساس نوع مصالح به صورت الاستیک - پلاستیک کامل یا الاستوپلاستیک همراه با سخت-شدگی کرنشی تعریف می‌شود. براساس نوع مصالح و نوع و سطح بارگذاری، در تحلیل سیکلیک سخت‌شدگی را می‌توان به صورت سینماتیک، ایزوتروپیک و یا آمیخته فرض شود که در این حالت رفتار پسماند مصالح نیز به صورتی مناسب تعریف نمود.

۵-۳-۱-۳- برای سازه‌های مشمول این آیین‌نامه که از نوع مصالح فولادی می‌باشند، در مدل‌سازی رفتار فرا الاستیک مصالح، معیار تسلیم فن میسس مورد استفاده قرار داده می‌شود.

۵-۳-۲- **مدل‌سازی سیستم‌های مکانیکی:** سیستم‌های میراگر و سیستم‌های اتلاف‌گر و جاذب انرژی براساس مشخصات مکانیکی آنها به طریقه‌ای مناسب مدل‌سازی می‌شوند. در مدل‌سازی سیستم‌های مکانیکی مذکور، منحنی‌های رفتاری نیرو-تغییر مکان یا لنگر-دوران مربوط به آنها که از نتایج آزمایش استخراج شده‌اند، در نظر گرفته می‌شوند.

۵-۳-۴- **مدل‌سازی هندسی سازه:** هندسه سازه که بیانگر مختصات گره‌ها، نحوه اتصال آنها و توپولوژی سازه می‌باشند به نحوی مناسب و با دقت کافی باید مدل‌سازی شوند. از آنجایی که هندسه سازه‌های فضاکار غالباً پیچیده و تعداد اعضای آنها زیاد می‌باشد استفاده از جبر فرمکسی و نرم‌افزار مربوط (فرمیین) می‌تواند مفید باشد.

۵-۳-۵- **مدل‌سازی کنش‌ها و بارهای مؤثر:** کنش‌های مؤثر بر سازه‌های فضاکار در فصل سوم مورد بحث قرار داده شده‌اند.

۵-۳-۱-۵- **مدل‌سازی بارهای مؤثر:** بارهای مؤثر بر سازه که شامل عوامل مستقیم (نظیر بارهای مرده، بارهای زنده، بار برف، بار باد و بار زلزله) و عوامل و بارهای اجرایی و بارهای ویژه (نظیر بارهای دینامیکی ویژه، آثار ناشی از تغییر دما، اختلاف نشست، نامیزانی، پیش‌تنیدگی، وادادگی، رانش خاک، جریان آب و آثار موج و یخ، نیروهای شناوری و بارهای تابع تغییرشکل سازه) می‌باشند، براساس فصل سوم، تعیین و بسته به نوع و موقعیت بارهای مؤثر، به صورت گسترده بر عضو یا پوشانه سازه‌ای و یا به صورت متمرکز در گره‌ها مدل‌سازی می‌شوند.

۵-۳-۲-۵- **مدل‌سازی آثار ناکاملی‌ها:** ناکاملی‌ها در سازه‌های فضاکار که شامل ناکاملی‌های هندسی (نظیر انحراف اولیه اعضا، انحراف گره‌ها از هندسه ایده‌آل) و ناکاملی‌های مکانیکی (نظیر تنش‌های پسماند، خروج از مرکزیت‌های اتفاقی در بارهای وارده، نیروهای اضافی اعضا، ناشی از عدم انطباق) می‌باشند، براساس بند ۲-۲-۵، به صورتی واقع‌گرایانه مدل‌سازی می‌شوند.

۵-۳-۶- **مدل‌سازی اجزای غیرسازه‌ای:** اجزای غیرسازه‌ای به اجزایی اطلاق می‌شود که در باربری و ایستایی سازه نقشی نداشته و یا نقشی ناچیز دارند. اجزای غیرسازه‌ای به طور مستقیم در مدل‌سازی سیستم لحاظ نمی‌شوند. اما بسته به اثرات آنها به صورت جرم‌افزوده و یا بارهای ثقیلی و یا اثرات ثانویه (نظیر اثر ضربه سقف‌های کاذب بدون مهاربندی‌های کافی) باید در مدل‌سازی در نظر گرفته شوند. در حالاتی که اجزای به‌ظاهر غیرسازه‌ای به صورت مختلط با سازه فضاکار عمل نموده و در رفتار سازه تأثیرگذار باشند، ضمن آنکه نمی‌توان آنها را اجزای غیرسازه‌ای به‌شمار آورد، باید آثار آنها در رفتار مجموعه سازه و رفتارهای موضعی ملحوظ

گردد. به طوری که در فصل اول ذکر شد، سازه‌های فضاکار شبکه‌ای که با پوشانه‌ها یا اجزای دیگر به صورت مختلط عمل می‌نمایند، از دامنه شمول این آیین‌نامه خارج‌اند.

۵-۳-۷- مدل‌سازی ریاضی: مدل‌سازی ریاضی یک مدل مجازی از سازه واقعی است که رابطه بین اجزای سازه، مشخصات مکانیکی، هندسه سازه، عوامل و بارهای مؤثر و پاسخ سازه را تبیین می‌کند. تنها نتایج تحلیل مدل ریاضی قابل اعتماد، پاسخ مناسبی از سازه را با دقت قابل قبولی در مقایسه با مدل واقعی سازه و یا مدل کاملاً جامع سازه پیش‌بینی خواهد نمود. برای تعیین پاسخ مورد نظر با دقت کافی و حداقل هزینه می‌توان از مدل‌های ریاضی ساده و تدقیق شده استفاده کرد. در حالت کلی روش‌های مدل‌سازی ریاضی به ۳ روش عمده تحلیلی، تحلیل معمول ماتریسی سازه و تحلیل عناصر محدود طبقه‌بندی می‌شوند.

روش تحلیلی با توجه به پیچیدگی سازه‌های فضاکار، کارایی لازم و مطلوبی در سازه‌های فضاکار ندارد. بنا به دلایل زیر روش‌های عناصر محدود روش جامعی است که می‌تواند به عنوان یک تکنیک کارآمد و مناسب برای مدل‌سازی ریاضی سازه‌های فضاکار مورد استفاده قرار گیرد.

تفسیر- روش‌های جدید مورد استفاده در تحلیل الاستوپلاستیک سازه‌ها نظیر روش‌های انتگرال‌گیری تنش روش‌های اعمال سخت‌شدگی سینماتیک و ایزوتروپیک، روش‌های استخراج روابط تنش - کرنش پلاستیک به گونه‌ای ایجاد و توسعه یافته‌اند که کاربرد و پیاده‌سازی آنها در تحلیل‌های عناصر محدود، ساده و آسان و در عین حال بسیار مؤثر و کارآمد می‌باشد.

برای تحلیل غیرخطی خرابی سازه‌های فضاکار دولا به، باید رفتار بار محوری - تغییر مکان محوری اعضای فشاری را از پیش تعیین نمود. پاسخ بار محوری - تغییر مکان محوری عضو فشاری را می‌توان بعداً برای مدل نمودن رفتار عضو در تحلیل غیرخطی خرابی سازه به کار برد. معمولاً کارایی روش عناصر محدود برای یافتن پاسخ اعضای فشاری مطلوب‌تر از سایر روش‌های مورد استفاده می‌باشد. به‌ویژه برای وضعیت‌های پیچیده در اعضای فشاری نظیر غیرخطی مصالح، غیرخطی هندسی و کمانش موضعی ثابت شده است که روش عناصر محدود کارآمد و مناسب بوده و به نتایج قابل اعتمادی منجر می‌گردد.

۵-۴- روش‌های تحلیل

گام اصلی در تحلیل و طراحی مهندسی، انتخاب نوع و سطح تحلیل می‌باشد. برحسب سازه مورد نظر، نوع بارگذاری و نوع پاسخ سازه، نوع و سطح تحلیل انتخاب می‌شود و ضروری است که برای پیش‌بینی پاسخ، روش تحلیل مورد نظر مطمئن و مؤثر برگزیده شود. به عبارت دیگر روش تحلیلی مورد نظر است که منجر به پاسخ سازه با دقت کافی و حداقل هزینه گردد. تحلیل در حد قابل اعتماد تحلیلی است که پاسخ ناشی از آن از دقت قابل قبولی در مقایسه با پاسخ تحلیل کاملاً جامع - که شامل تمامی اثرات غیرخطی و مدل‌سازی‌های دقیق و پیچیده تمامی اجزای سازه می‌باشد - برخوردار باشد یا با نتایج آزمایش‌های مربوط تطابق نزدیکی داشته باشد. توصیه اکید، پرهیز از انتخاب تحلیل کاملاً جامع در شروع مراحل تحلیل و طراحی می‌باشد. بالعکس توصیه می‌شود که تحلیل و طراحی با روش‌ها و مدل‌های تحلیل ساده‌تر (به عنوان مثال تحلیل خطی یا تحلیل فرا الاستیک مدل‌های ساده‌سازی شده سیستم) شروع شود و در مراحل بعدی از مدل‌ها و روش‌های تحلیل تفضیلی‌تر به قصد تدقیق نتایج تحلیل پیچیده‌تر استفاده شود. در این صورت با انباشت اطلاعاتی که از تحلیل‌های ساده‌تر به دست می‌آوریم، قضاوت در مورد نوع تحلیل انتخابی برای مؤثر و مطمئن بودن آن به راحتی و با اطمینان انجام می‌گیرد.

۵-۴-۱- روش‌های تحلیل بر اساس نوع بار و پاسخ سازه

بسته به نوع بارگذاری (تابع زمان بودن و نبودن بارگذاری)، آثار ناشی از کنش‌های مؤثر بر سازه (پاسخ سازه) و با مقایسه مشخصه‌های دینامیکی بار و مشخصه دینامیکی سازه (به ویژه بسامد سازه) تحلیل به صورت استاتیکی یا دینامیکی انجام می‌گیرد.

۵-۴-۱-۱- تحلیل استاتیکی

در صورتی که آثار ناشی از کنش‌های مؤثر بر سازه (پاسخ سازه) مستقل از زمان باشد یا شتاب ایجاد شده در سازه بالنسبه ناچیز باشد تحلیل سازه به روش استاتیکی کفایت خواهد نمود.

۵-۴-۱-۲- تحلیل دینامیکی

در صورتی که آثار ناشی از کنش‌های مؤثر (پاسخ سازه) تابع زمان بوده یا به عنوان متغیر کلیدی در تعیین پاسخ سازه ایفای نقش نماید و شتاب ایجاد شده در سازه قابل ملاحظه باشد، باید تحلیل سازه به روش دینامیکی انجام شود.

۵-۴-۲- دسته‌بندی تحلیل استاتیکی

تحلیل استاتیکی بسته به شرایط، نوع سازه، نوع بارگذاری و معیارهای طراحی و مشخصات مصالح، ویژگی‌های هندسی و نوع عوامل تأثیرگذار در رفتار غیرخطی که در بند ۵-۲-۴-۱ ذکر گردید، به صورت خطی یا غیرخطی انجام می‌گیرد.

۵-۴-۲-۱- تحلیل خطی

تحلیل سازه فضاکار برای حالات حدی "بهره برداری" به‌طور معمول در چارچوب رژیم الاستیک خطی صورت می‌گیرد.

۵-۴-۲-۱-۱- در حالت حدی بهره‌برداری، با توجه به عملکرد سازه یا اجزای آن، وضعیت ظاهری و رفاه بهره‌برداران، می‌توان تحلیل خطی یا غیرخطی را انتخاب نمود.

۵-۴-۲-۱-۲- در تحلیل الاستیک خطی، اثرات کنش‌های غیرمستقیم را می‌توان به‌طور صریح با اعمال تغییرشکل‌های مربوطه یا به صورت نیروهای معادل اعمال نمود.

۵-۴-۲-۱-۳- متناسب با نوع و هندسه سازه، نوع بارگذاری، در صورت لزوم آثار ناکاملی مطابق بند ۵-۲-۲ و آثار انعطاف‌پذیری اتصالات و پیوندها مطابق بند ۵-۲-۳ در تحلیل اعمال می‌شود.

۵-۴-۲-۲- تحلیل غیرخطی

در شرایطی که حالت حدی نهایی به عنوان حالت طراحی مبنای عمل قرار می‌گیرد، با توجه به اهمیت سازه‌های فضاکار، انجام تحلیل غیرخطی که شامل اثرات غیرخطی هندسی و مصالح می‌باشد، الزامی است. در صورتی که به تشخیص مرجع کنترل طراحی، سازه فضاکار از اهمیت کمتری برخوردار باشد، می‌توان در حالت حدی نهایی نیز به تحلیل خطی اکتفا نمود.

۵-۴-۲-۱- تحلیل غیرخطی با توجه به مراتب تأثیر کنش‌های اصلی در رفتار سازه‌های فضاکار که در بند ۲-۴-۲-۵ به آنها اشاره شد و نیز (در حالت حدی بهره‌برداری) با توجه به بند ۱-۱-۲-۴-۵ به یکی از سه صورت زیر انجام می‌گیرد:

الف) تحلیل غیرخطی صرف هندسی؛

ب) تحلیل غیرخطی صرف مصالح؛

پ) تحلیل غیرخطی توأم هندسی و مصالح.

۵-۴-۲-۲- در تحلیل غیرخطی در سازه‌های فضاکار باید ملاحظات زیر را در نظر گرفت:

الف) به طور معمول تحلیل غیرخطی به صورت نموی - تکراری انجام می‌گیرد.

ب) در تحلیل تکراری متناسب با نوع هندسه سازه، رواداری‌های مناسب برحسب تغییر مکان یا نیرو یا انرژی در نظر گرفته می‌شوند. توصیه می‌شود رواداری بر حسب انرژی در نظر گرفته شود.

پ) همچنین توصیه می‌شود از روش تکراری نیوتون - رافسون (به صورت تام یا تعدیل یافته) استفاده شود.

ت) در تحلیل غیرخطی مصالح یا غیرخطی توأم هندسی و مصالح برای سازه‌های فضاکار فولادی، معیار فن میسس به عنوان معیار تسلیم توصیه می‌شود.

ث) در صورتی که نوع بارگذاری وارد بر سازه فضاکار در حالت استاتیکی مستلزم پاسخ چرخه‌ای (رفت و برگشتی) باشد، توصیه می‌شود از قاعده سخت‌شوندگی سینماتیک، ایزوتروپیک یا سخت‌شوندگی آمیخته (ایزوتروپیک و سینماتیک) بسته به مشخصات مصالح و عوامل مؤثر بر رفتار غیرخطی مصالح استفاده شود.

ج) آثار ناکاملی‌های هندسی و مکانیکی مطابق بند ۲-۲-۵ در تحلیل اعمال می‌شود.

چ) آثار انعطاف‌پذیری اتصالات و پیوندها مطابق بند ۳-۲-۵ در تحلیل اعمال می‌شود.

۵-۴-۳- تحلیل ناپایداری (استاتیکی)

پایداری سازه‌ای مجموعه سازه فضاکار و همچنین اعضا و اجزای تشکیل‌دهنده آن باید با سطح اطمینان کافی تأمین شود. به منظور ارضای معیارهای حالات حدی نهایی مرتبط با پایداری، تحلیل مجموعه سازه از دیدگاه ناپایداری سازه‌ای صورت می‌گیرد. تحلیل ناپایداری هنگامی به صورت استاتیکی انجام می‌گیرد که:

الف) آثار ناشی از عوامل مؤثر بر سازه (پاسخ سازه) مستقل از زمان باشد؛

ب) شتاب ایجادشده در سازه بالنسبه ناچیز باشد؛

پ) اثر ناپایداری موضعی رخ داده در سازه دینامیکی نباشد (به عنوان مثال در حالت کمناش عضوی در سازه‌های فضاکار دو و چندلایه، اگر سختی سازه باقیمانده از سختی منفی پس کمناشی آن عضو فشاری کمناش یافته بیشتر باشد)؛

ت) اثر دینامیکی ناپایداری موضعی رخ داده در سازه بالنسبه ناچیز باشد (به عنوان مثال در حالت ناپایداری گرهی، اگر انرژی جنبشی آزادشده در مقایسه با کل کار انجام یافته ناچیز باشد).

۵-۴-۲-۳-۱- در انجام تحلیل ناپایداری استاتیکی در سازه‌های فضاکار باید ملاحظات زیر را در نظر گرفت:

الف) در تحلیل ناپایداری استاتیکی سازه‌های فضاکار، آثار غیرخطی هندسی و مصالح به صورت توأم باید در نظر گرفته شوند.

ب) رعایت همه ملاحظات که برای تحلیل غیرخطی استاتیکی در بند ۵-۴-۲-۲ ذکر شد، الزامی است.

پ) در تحلیل نموی - تکراری غیرخطی ناپایداری باید از الگوریتم‌های مؤثر و کارآمدی برای کشف نقاط حدی و نقاط دوشاخگی استفاده شود.

ت) روش‌های تکراری نیوتون - رافسون در همسایگی نقاط بحرانی فاقد کارایی و توانایی لازم می‌باشند. هنگامی که ماتریس سختی به حالت تکینگی نزدیک می‌شود، توصیه می‌گردد که برای غلبه بر این مسأله و دنبال نمودن مسیرهای تعادل و گذر از نقاط بحرانی به محدوده فرا بحرانی از روش‌های مبنی بر طول کمان استفاده شود.

ث) برای به دست آوردن پاسخ سازه در حالت ناپایداری دوشاخگی، باید از الگوریتم‌های کارآمد منعکس‌کننده تعویض مسیر در نقطه دوشاخگی استفاده شود.

ج) در تحلیل‌های ناپایداری استاتیکی، توجه کافی به استخراج مودهای ناپایداری شامل ناپایداری عضوی، ناپایداری گرهی، ناپایداری پیچشی گرهی، ناپایداری ترکیبی عضوی - گرهی، ناپایداری در امتداد مسیر و ناپایداری عمومی مبذول شود.

تفسیر - برای شناخت مودهای ناپایداری به پیوست ۴ مراجعه شود.

چ) در تحلیل‌های ناپایداری استاتیکی، باید به استخراج مکانیزم‌های خرابی - که نقش قابل ملاحظه‌ای در طراحی ایمن و با قابلیت اعتماد کافی سازه فضاکار دارند - پرداخت شود. مکانیزم‌های خرابی را در یک دسته‌بندی کلی می‌توان به سه رده زیر طبقه‌بندی کرد:

ناپایداری کلی:

ناپایداری موضعی بدون اثر دینامیکی:

ناپایداری موضعی با اثر دینامیکی (از نوع فروجهش گرهی، از نوع فروجهش عضوی، از نوع ناپایداری توأم عضوی - گرهی)

تفسیر - برای شناخت مفاهیم فروجهش گرهی، فروجهش عضوی و ناپایداری ترکیبی عضوی - گرهی به پیوست ۴ مراجعه شود.

در صورتی که مکانیزم خرابی از نوع ناپایداری موضعی با اثر دینامیکی باشد، باید تحلیل ناپایداری با ملحوظ‌داشتن آثار دینامیکی صورت گیرد.

۵-۴-۳- دسته‌بندی تحلیل دینامیکی

تحلیل دینامیکی بسته به شرایط، نوع سازه، سطح و نوع بارگذاری، معیارهای طراحی و مشخصات مصالح، ویژگی‌های هندسی و نوع عوامل تاثیر گذار در رفتار غیرخطی که در بند ۵-۴-۲-۱ ذکر گردید، به صورت خطی یا غیرخطی انجام می‌گیرد.

۵-۴-۱- نحوه تحلیل دینامیکی خطی

برای سازه‌های فضاکار که تحت بار تابع زمان و یا هر اثر دینامیکی دیگر رفتار خطی از خود نشان می‌دهند، اساساً دو روش تحلیل وجود دارد:

الف- تحلیل مودی (مودال)،

ب- تحلیل تاریخچه زمانی.

تفسیر-۳-۲-۵ متناسب با نوع و هندسه سازه و نوع بارگذاری، در صورت لزوم، آثار ناکاملی مطابق بند ۲-۲-۵ و آثار انعطاف‌پذیری اتصالات و پیوندها مطابق بند ۳-۲-۵ در تحلیل اعمال می‌شود.

۵-۴-۳-۱-۱- روش تحلیل مودی (مودال)

در این روش، تحلیل دینامیکی سازه با فرض رفتار خطی آن انجام شده و یک سازه فضاکار با n درجه آزادی به n سیستم یک درجه آزادی تبدیل می‌شود. به این منظور ابتدا با تحلیل ارتعاش آزاد، بسامدهای طبیعی و مودهای ارتعاش آزاد سازه فضاکار محاسبه می‌شود. تبدیل یک سیستم n درجه آزادی به n سیستم یک‌درجه آزادی بر اساس خاصیت تعامد مودها انجام می‌گیرد.

۵-۴-۳-۱-۱- تعداد مودهای ارتعاشی

مشارکت هر کدام از مودها در پاسخ کل سازه فضاکار متفاوت می‌باشد و با توجه به دقت مهندسی لازم نیست سهم تمام n مود محاسبه گردد؛ بلکه کافی است تمامی مودهای ارتعاشی را که مجموع جرم‌های مؤثر آنها بیشتر از ۹۰ درصد جرم کل سازه است، مورد استفاده قرار داد.

تفسیر-۳-۲-۵ در سازه‌های فضاکار بر خلاف بسیاری از سازه‌های متعارف، در حالت کلی، ممکن است تنها منظورداشتن مودهای اولیه در پاسخ سازه کفایت نداشته و بسته به نوع سیستم احتمال دارد مودهای بالاتر سهم عمده‌تری در پاسخ داشته باشند. لذا مودهای مؤثر باید در تحلیل طیفی به نحوی که در این بند مقرر گردیده، مدنظر قرار گیرند.

۵-۴-۳-۱-۲- ترکیب آثار مودها

با توجه به مقادیر کمیت‌های مشخصه ارتعاش آزاد سازه باید یکی از روش‌های متداول ترکیب مودها (روش جذر مجموع مربعات یا ترکیب کوادراتیک کامل) برای محاسبه آثار ترکیب مودها به کار گرفته شود.

۵-۴-۳-۲- روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی

در این روش، تحلیل دینامیکی سازه با حل معادله حرکت سازه فضاکار با استفاده از یکی از روش‌های عددی متداول (مانند انتگرال‌گیری عددی مستقیم) انجام می‌شود.

۵-۴-۳-۲- تحلیل دینامیکی غیرخطی

در شرایطی که حالت حدی نهایی به عنوان حالت طراحی، مبنای عمل قرار می‌گیرد، با توجه به اهمیت سازه‌های فضاکار، انجام تحلیل غیرخطی که شامل اثرات غیرخطی هندسی و مصالح می‌باشد، الزامی است. صرفاً در صورتی می‌توان به تحلیل خطی اکتفا نمود که با توجه به جمع جهات، از جمله میزان اهمیت سازه، مراتب به تأیید کارفرما رسیده باشد.

۵-۴-۳-۱- تحلیل غیرخطی با توجه به مراتب تأثیر عوامل اصلی در رفتار سازه‌های فضاکار که در بند ۲-۴-۲-۵ به آنها اشاره شد و نیز (در حالت حدی بهره برداری) با توجه به بند ۱-۲-۴-۵ به یکی از سه صورت زیر انجام می‌گیرد:

الف) تحلیل غیرخطی صرف هندسی؛

ب) تحلیل غیرخطی صرف مصالح؛

پ) تحلیل غیرخطی توأم هندسی و مصالح.

۵-۴-۳-۲- در انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی در سازه‌های فضاکار باید ملاحظات زیر را در نظر گرفت:

- الف) تحلیل غیرخطی به صورت نموی - تکراری انجام می‌گیرد.
- ب) هنگام استفاده از روش‌های عددی، انتخاب گام زمانی با توجه به میزان دقت مورد نظر و نیل به پایداری عددی و همگرایی در تحلیل صورت می‌گیرد. گام زمانی بسته به نوع روش عددی مورد استفاده و شرایط حاکم بر طرح انتخاب می‌گردد.
- پ) در تحلیل دینامیکی غیرخطی بسته به نوع مسأله و شرایط بارگذاری از یکی از روش‌های ضمنی و یا صریح استفاده می‌شود.
- ت) در تحلیل تکراری، متناسب با نوع و هندسه سازه، رواداری‌های مناسب بر حسب تغییر مکان یا نیرو یا انرژی در نظر گرفته می‌شود. استفاده از رواداری بر حسب انرژی در اغلب موارد ارجح است.
- ث) در تحلیل‌های غیرخطی مصالح یا غیرخطی توأم هندسی و مصالح برای سازه‌های فضاکار فولادی، معیار فن میسس به عنوان معیار تسلیم توصیه می‌شود.
- ج) استفاده از قاعده سخت‌شوندگی سینماتیک، ایزوتروپیک سخت‌شوندگی آمیخته (ایزوتروپیک و سینماتیک توأم) بسته به مشخصات مصالح و عوامل غیرخطی توصیه می‌شود.
- چ) آثار ناکاملی‌های هندسی و مکانیکی مطابق بند ۲-۵-۲ در تحلیل اعمال می‌شود.
- ح) آثار انعطاف‌پذیری اتصالات و پیوندها مطابق بند ۳-۲-۵ در تحلیل اعمال می‌شود.

۵-۴-۳- تحلیل ناپایداری دینامیکی

تحلیل ناپایداری دینامیکی در دو حالت انجام می‌گیرد:

- الف) در حالتی که بار تابع زمان باشد و ناپایداری در یک بار بحرانی به انضمام یک بسامد ارتعاش بحرانی مخالف صفر، در سازه رخ دهد، در این صورت ناپایداری از نوع دینامیکی می‌باشد. در این تحلیل‌ها پارامتری به نام پارامتر بار تعریف می‌شود. برای مقادیر کوچک پارامتر بار، سیستم دارای نوسانات کوچکی می‌باشد. دامنه حرکت پاسخ با افزایش بار به آرامی افزایش می‌یابد. در برخی از ترازهای بار، دامنه حداکثر پاسخ دارای جهش قابل ملاحظه‌ای خواهد بود که مقدار تراز بار متناظر با این جهش، به عنوان پارامتر بار بحرانی دینامیکی شناخته می‌شود.
- ب) در حالتی که بار تابع زمان نبوده ولی پاسخ سازه دینامیکی می‌باشد (در فروجهش گرهی، فروجهش عضوی - در ناپایداری عضوی - گرهی).
- در سازه‌های فضاکار اغلب نوع دوم تحلیل ناپایداری دینامیکی انجام می‌شود، به عبارت دیگر هنگامی که ناپایداری موضعی ناشی از فروجهش گرهی یا فرو جهش عضوی یا ناپایداری از نوع توأم فروجهش گرهی و عضوی، آثار اثر دینامیکی به دنبال داشته باشد.
- تفسیر - تشخیص لزوم انجام تحلیل ناپایداری دینامیکی مطابق با بند ۳-۲-۴-۵ خواهد بود.

۵-۴-۳-۱- در انجام تحلیل ناپایداری دینامیکی (از نوع دوم) باید ملاحظه‌های زیر را در نظر گرفت:

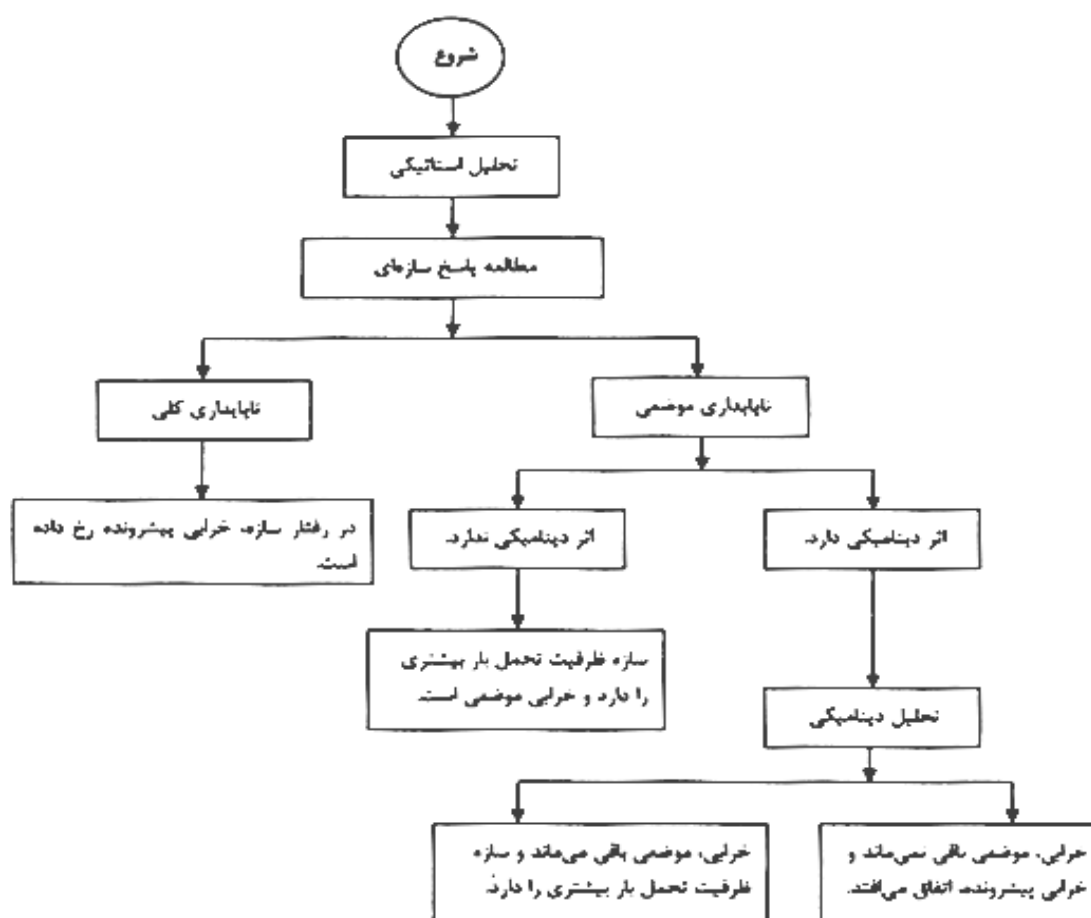
- الف) در تحلیل ناپایداری دینامیکی سازه‌های فضاکار، باید آثار غیرخطی هندسی و مصالح به صورت توأم در نظر گرفته شوند.
- ب) رعایت تمامی ملاحظاتی که برای تحلیل غیرخطی دینامیکی در بند ۲-۲-۳-۴-۵ ذکر شد، الزامی است.

پ) توصیه می‌شود آثار انرژی جنبشی آزاد شده به دلیل وقوع فروجهش گرهی به‌ویژه در سازه‌های فضاکار تک‌لایه به نحو مناسبی در تحلیل دینامیکی اعمال شوند.

ت) توصیه می‌شود آثار انرژی جنبشی آزاد شده به دلیل وقوع فروجهش عضوی یا ناپایداری عضوی - گرهی به‌ویژه در سازه‌های فضاکار دو یا چندلایه پیش می‌آیند، به نحو مناسبی در تحلیل دینامیکی اعمال شوند

ث) در تحلیل ناپایداری دینامیکی سازه‌های فضاکار امکان وقوع خرابی پیشرونده باید به نحو مناسبی ارزیابی شود. خرابی پیشرونده را می‌توان به عنوان انتشار دینامیکی ناپایداری موضعی نظیر "فروجهش گرهی"، "فروجهش عضوی" یا ناپایداری "عضوی - گرهی" به کار برد.

تفسیر - در مورد ارزیابی و تشخیص وقوع خرابی پیشرونده در سازه‌های فضاکار می‌توان نگاره روند عملیاتی زیر را مبنای عمل قرار داد.



شکل ۲-۵

۵-۴-۴- تحلیل سازه‌های فضاکار به روش پاره‌سازه‌ها

اگرچه روش تحلیل چند مرحله‌ای پاره‌سازه‌ها به طور اعم در مورد هر نوع سازه‌ای قابل کاربرد می‌باشد، به طور اخص در مورد سازه‌های فضاکار دارای الگوی تکرارشونده و متشکل از واحدها، مدول‌ها یا زیر مجموعه‌ها (پاره‌سازه‌ها) تکرارشونده بسیار کارا می‌باشد. چنین سازه‌های فضاکاری را سازه‌های فضاکار مدوله می‌نامند. بخش اعظم سازه‌های فضاکار شبکه‌ای احداث شده در سطح

جهانی، به‌گونه‌ای، در زمره سازه‌های فضاکار مدوله به‌شمار می‌روند. از مهمترین خواص این سازه‌ها قابلیت تولید انبوه صنعتی آن‌ها است. فرایند تحلیل پاره‌سازه‌ها در مواردی مفید خواهد بود که از نظر ملزومات مربوط به میزان حافظه کمبود وجود داشته باشد یا سازه به پاره‌سازه‌های تفکیک‌پذیری تقسیم شده باشد که توسط گروه‌های طراحی متفاوت بررسی می‌گردند. تقسیم‌بندی سازه به تعداد تحت کنترلی از پاره‌سازه‌هایی که بررسی آنها سهل‌تر از سازه کامل است، در پردازش نتایج نیز تسهیل خواهد نمود. در حالاتی که انتظام در الگوهای تکرارشونده واحدهای نمونه (مدول‌ها) در سازه برقرار باشد، این روش به‌ویژه کارا و مؤثر خواهد بود. همچنین در این حالات ماتریس‌های حاصله دارای بلوک‌های تکراری و از نظر ساختاری از نوع پراکنده می‌باشند که خود، به‌لحاظ امکان کاهش ملزومات مربوط به حافظه فعال، حایز اهمیت می‌باشد.

برنامه‌نویسی توفیق‌آمیز به منظور تحلیل چند مرحله‌ای پاره‌سازه‌ها عمدتاً مسأله‌ای تکنیکی در برنامه‌نویسی و ذخیره‌سازی و دستیابی به اطلاعات است. با سازماندهی مطلوب برنامه می‌توان مشکلات تکنیکی برنامه‌نویسی را از سر راه برداشت. با بهره‌گیری از خاصیت انتظام در سازه‌های مدوله و در نتیجه کاهش ملزومات حافظه، افزایش سرعت و کاهش تعداد عملیات محاسباتی و همچنین کاهش هزینه تحلیل با حفظ دقت نتایج، روش پاره‌سازه‌ها در تحلیل سازه‌های فضاکار مدوله توانمندی آشکاری در بر خواهد داشت.

تفسیر - با استفاده از مفاهیم پاره‌سازه‌های مافوق و گره‌های مافوق، ماتریس‌های پاره‌سازه‌ها در تمامی مراحل تحلیل به صورت بلوک‌بندی‌شده با استفاده از روابط بزرگنمایی‌شده بین پاره‌سازه‌های مافوق، به سهولت تشکیل داده شده و در فرم ملخص ذخیره می‌گردند. با بهره‌گیری از مفاهیم جبر فرمکسی و در چارچوب ساختار جبر فرمکسی به منظور ساده‌سازی پردازش فرم‌های بخش‌بندی‌شده و ذخیره‌سازی ماتریس‌های بلوک‌بندی‌شده، تهیه و اصلاح داده‌ها ساده شده و فرایند سرهم‌بندی ماتریس‌های پاره‌سازه‌ها که بدو امری بغرنج به نظر می‌رسید، به طور خود به‌خودی و به سادگی، قابل انجام است؛ بدون آنکه نیازی به اطلاعات مربوط به هم‌بندی پاره‌سازه‌ها در مراحل متفاوت تحلیل وجود داشته باشد. با اتخاذ روش ذخیره‌سازی اطلاعات به صورت فشرده و ارایه روش‌های کارا برای حل سیستم معادلات بلوک‌بندی‌شده مرتبط با ساختارهای مدوله سازه‌های فضاکار، محیط کامپیوتری و ابزار تحلیل کارایی را می‌توان برای تحلیل به روش پاره‌سازه‌ها برای سازه‌های مدوله ایجاد نمود که تعادل مناسبی بین ملزومات مربوط به سرعت محاسبات، حافظه مورد نیاز و امکانات تولید خود به‌خودی داده‌ها را در سطوح متفاوت هم‌بندی پاره‌سازه‌ها برقرار نماید. با توجه به مشکلاتی که برنامه‌نویس و تحلیلگر سازه در پردازش خواص توپولوژیک و هم‌بندی پاره‌سازه‌های متنوع در آنالیز چند مرحله‌ای سازه‌های بغرنج با آنها مواجه است، با استفاده از مفاهیم جبر فرمکسی، تئوری گراف، جبر خطی، ریاضیات منفصل و آنالیز عددی به‌ویژه روش اجزای محدود، شالوده‌های ریاضی برای تحلیل اجزاء محدود پاره‌سازه‌ها بنا نهاده شده که مشکلات مذکور در فوق را مرتفع ساخته است. همچنین با بهسازی روش‌های تولید اتوماتیک و ذخیره‌سازی داده‌ها و سرهم‌بندی دستگاه معادلات بلوک‌بندی‌شده و حل معادلات، ارتباطات توپولوژیک پاره‌سازه‌ها و ذخیره‌سازی و دسترسی به بلوک‌های اطلاعاتی در کلیه مراحل آنالیز، به نحو سیستماتیک و اتوماتیک قابل انجام است.

از نتایج قابل حصول از سیستم و روش تحلیل پاره‌سازه‌ها در چارچوب جبر فرمکسی، ایجاد محیط نرم‌افزاری مناسب جهت تحلیل پاره‌سازه‌ها بخصوص پاره‌سازه‌های تکرارشونده (سازه‌های مدوله) می‌باشد. همچنین انواع الگوریتم‌های حل سیستم‌های مدوله در دسترس تحلیل‌گران دستگاه‌های معادلات بلوک‌بندی‌شده بوده و برای حل معادلات مربوطه به نحو کارا تر قابل استفاده خواهند بود. در چنین محیط نرم‌افزاری، پاره‌سازه‌های مینا در واقع بسته‌های اطلاعاتی مناسبی هستند که برحسب فرمول فرمکسی ژنریک بیان می‌گردند. فرمکس‌های پاره‌سازه‌ها تلخیص گردیده و فرایند تلخیص سازگار با تلخیص ماتریسی مربوطه اعمال می‌گردد. فرایند هم‌بندی پاره‌سازه‌ها که امری بغرنج می‌رسید، ساده و سهل گردیده و به‌صورت اتوماتیک بدون ارایه اطلاعات و داده در مرحله‌های مختلف سرهم‌بندی پاره‌سازه‌ها انجام‌پذیر می‌گردد. در یک سیستم برنامه‌نویسی سازمان یافته، نرم‌افزار مورد نظر شامل یک برنامه کنترل‌کننده و مدول‌های: الف) داده‌های ورودی و خروجی قابل انتخاب، ب) مدول فرمکسی، پ) مدول هم‌بندی اجزای محدود و پاره‌سازه‌ها، ت) مدول فرمول‌بندی روش اجزای محدود و ث) مدول تلخیص و حل معادلات بلوک‌بندی‌شده می‌باشد و در واقع از جبر فرمکسی برای سازماندهی برنامه تحلیل سازه‌ها می‌توان بهره‌گیری نمود. به خصوص در مورد سازه‌های مدوله با تقارن انتقالی یا سیکلیک بهره‌گیری از این شیوه در تدوین برنامه کامپیوتری تحلیل به نحو بسیار سریع و با حداقل حافظه نتایجی بدون کاهش دقت به دست خواهد داد.

در تحلیل سازه‌ها به روش پاره‌سازه‌ها، با بهره‌گیری از جبرفرمکسی، قابلیت تحلیل کلی بدون نیاز به ارایه اطلاعات (اضافی) در مراحل متفاوت آنالیز فراهم می‌گردد و با دقت و بازدهی قابل توجهی تحلیل اجزای محدود صورت خواهد گرفت. در بسیاری از سازه‌های مهندسی و به‌ویژه سازه‌های فضاکار، نوعی از انتظام و تکرار واحدها یا مدول‌های تکرارشونده مشاهده می‌گردد. با استفاده از خواص ماهیتی این الگوهای تکرارشونده، قابلیت تحلیل بسیار سریع و با کارایی مطلوب در آنالیز سازه‌های مدوله فراهم می‌گردد. این امر به معنی سهولت تهیه داده‌ها، سهولت اصلاح داده‌ها، حداقل حافظه فعال مورد نیاز، حداقل تعداد عملیات لازم با استفاده از خاصیت تکراری بودن الگوها و در نتیجه صرفه‌جویی در فرایند تلخیص، ذخیره‌سازی و سرهم‌بندی مدول‌ها، پاره‌سازه‌ها و اجزای مافوق می‌باشد. این مزیت، تحلیل سازه‌های بگرنج و با درجات آزادی قابل ملاحظه را به صورتی اقتصادی عملی می‌سازد. در این زمینه می‌توان به مقالات ذریبط انتشاریافته در مجله بین‌المللی سازه‌های فضاکار، مجموعه مقالات چهارمین و پنجمین کنفرانس بین‌المللی سازه‌های فضاکار و مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی سازه‌های فضاکار، مندرج در فهرست مراجع این آیین‌نامه، مراجعه نمود.

٦

طراحی اعضا، اتصالات و تکیه گاهها

۶-۱- کلیات

هر سازه فضاکار شبکه‌ای متشکل از تعداد قابل توجهی از اجزای گوناگون می‌باشد. این اجزا را می‌توان با توجه به رفتار آنها در مجموعه سازه به سه رده کلی اعضا، اتصالات و تکیه‌گاه‌ها تقسیم کرد.

اعضا، اضلاع تشکیل‌دهنده شبکه سازه فضاکار می‌باشند که مطابق با بند ۴-۱۶ دسته‌بندی می‌شوند.

اتصالات، عبارت‌اند از گره‌های شبکه سازه فضاکار که انتقال نیروهای بین اعضا را برعهده دارند و بسته به رفتاری که تحت اثر کنش‌ها بروز می‌دهند، دسته‌بندی می‌شوند.

تکیه‌گاه‌ها، گره‌هایی از شبکه سازه فضاکار می‌باشند که بارهای وارده بر سازه فضاکار را به شالوده پایه‌ها یا دیگر سازه‌ها یا ابنیه تکیه‌گاهی منتقل کرده و در عین حال از حرکت سازه فضاکار به‌صورت جسم صلب ممانعت به‌عمل می‌آورند.

نقش هر یک از این اجزا در عملکرد سازه در فرایند طراحی مجموعه تعیین می‌گردد و به‌عبارت دیگر رفتار هر جزء در رفتار مجموعه تأثیرگذار می‌باشد. از این‌رو شناخت رفتار هر یک از اعضا و اجزای سازه بخشی از فرایند طراحی و تعیین کمی نقش هر عضو در رفتار مجموعه و تعیین ابعاد هر عضو بخش دیگری از روند طراحی به‌شمار می‌روند.

تعیین ملاحظات و روابط ناظر بر رفتار هر یک از اجزای مذکور در فوق، موضوع این فصل آیین‌نامه می‌باشد. این روابط در سازگاری با مبانی نظری این آیین‌نامه و با توجه به مفاهیم حالات حدی نهایی و حالات حدی خدمت‌رسانی مورد بحث قرار داده می‌شوند و مقادیر این حالات حدی از طراحی مجموعه سازه فضاکار حاصل می‌گردند.

۶-۲- طراحی اعضا

این فصل معیارهای طراحی اعضای متداول در سازه‌های فضاکار فولادی شبکه‌ای را ارائه می‌دهد. برای طراحی اعضایی که در این فصل اشاره‌ای به آنها نشده است، باید به آیین‌نامه‌هایی که با مبانی و معیارهای این آیین‌نامه سازگاری دارند و پاسخگوی نیازهای طراحی اعضای مزبور باشند، مراجعه شود.

مجموعه سازه فضاکار و تمامی اعضای تشکیل‌دهنده اصلی آن و اجزای الحاقی به اعضا مانند ورق‌های اتصال و مخروطی‌های انتهایی و همچنین قطعات اتصال و پیوندها، باید معیارهای مقاومت و تغییرشکل و شرایط بهره‌برداری این فصل را در مقابل نیروهای طراحی نهایی و بهره‌برداری ارضا نمایند. عضو اصلی به عضوی از سازه فضاکار اطلاق می‌گردد که حذف آن، منجر به تغییر نیروهای وارده بر دیگر اعضا و اجزای سازه و همچنین تغییرشکل‌های سازه به‌میزانی افزون‌تر از ۲٪ گردد. عضوی که چنین تأثیری بر رفتار سازه فضاکار و سایر اعضا و اجزای آن نگذارد، عضوی فرعی محسوب خواهد شد.

"نیروی طراحی" عضو سازه به نیروهای تقاضای حاصل از تحلیل که به‌منظور طراحی عضو به‌کار گرفته می‌شود، اطلاق می‌گردد. روش‌های متفاوت تحلیل سازه تحت تأثیر کنش‌های گوناگون در فصل ۵ تشریح گردیده‌اند. نیروهای طراحی هر مرحله از مدل تحلیلی باید برای حالات حدی نهایی و حالات حدی بهره‌برداری ذی‌ربط با استفاده از مدل‌سازی واقع‌گرایانه هندسه، مصالح و شرایط تکیه‌گاهی به‌دست آیند.

۶-۲-۱- ضرایب کاهش مقاومت در طراحی به روش حالت حدی نهایی

برای تعیین ضرایب کاهش مقاومت در طراحی به روش حالت حدی نهایی برای هر حالت خاص با توجه به ماهیت نیروی حاکم (ر.ک. بند ۲-۳) به آخرین ویرایش "مقررات ملی ساختمان ایران - مبحث دهم: طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی" که براساس روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) تدوین گردیده، مراجعه شود.

۶-۲-۲- مقادیر حالات حدی بهره‌برداری

برای تعیین مقادیر حالات حدی بهره‌برداری مورد نظر از قبیل خیز، تغییرشکل، ارتعاش و غیره تحت اثر حالات ترکیبی بارهای بهره‌برداری (بدون ضریب)، به فصل ۴ آیین‌نامه مراجعه شود.

۶-۲-۳- طراحی اعضا بر اساس ماهیت نیروهای اعضا

۶-۲-۳-۱- طراحی اعضای تحت تأثیر نیروی محوری کششی

اعضای کششی به اعضای از یک سازه فضاکار شبکه‌ای اطلاق می‌گردد که نیروی محوری کششی اصلی‌ترین نیروی وارد به آن عضو باشد. به این معنی که رفتار عضو به‌طور عمده تحت تأثیر کنش بوده سایر آثار وارده بر عضو مقادیر ناچیزی داشته باشند. طراحی اعضای کششی باید با توجه به نکات زیر انجام گیرد:

الف) طراحی با استفاده از روش حالت حدی نهایی انجام شود.

ب) مقطع خالص و مؤثر عضو مطابق با آیین‌نامه‌های معتبر (از جمله مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران) در نظر گرفته شوند.

پ) برش پارگی مطابق با آیین‌نامه‌های معتبر تعیین شود.

ت) در مورد اعضای که انتهای آنها پرس شده‌اند، باید کنترل‌های موضعی بر اساس مبنای مکانیک سازه‌ها و ترجیحاً از طریق آزمایش به عمل آید.

ث) نسبت لاغری عضو کششی نباید از ۳۰۰ تجاوز نماید، ولی در صورتی که معیارهای طراحی و شرایط اجرایی در کلیه مراحل از قبیل حمل، ساخت و نصب اجازه دهند، می‌توان از این محدودیت با بهره‌گیری از میزان لازم پیش‌تنیدگی و مشروط به تایید مدیریت طرح، عدول نمود.

ج) در طراحی اعضای کششی، نیروهای پیش‌تنیدگی (پیش‌کشیدگی) قابل توجهی که ناشی از نوع طرح و یا به علت نحوه اجرا باشد، باید در نظر گرفته شوند.

چ) از آنجا که اعضای کششی در سازه‌های فضاکار می‌توانند ترکیبی از عضو اصلی، قطعات انتهایی و پیچ باشند، طراحی باید بر اساس مقاومت ضعیف‌ترین جزء در مقابل نیروی کششی وارده انجام گیرد. توصیه می‌شود مقاومت کششی عضو اصلی با حاشیه ایمنی مکفی از مقاومت نهایی پیچ افزون‌تر باشد.

ح) در مورد اعضای کششی با شرایط انتهایی خاص باید کنترل‌های موضعی صورت گیرند. با توجه به تولید انبوه اعضای سازه‌های فضاکار توصیه می‌شود در این‌گونه موارد آزمایش‌های موضعی برای شناخت رفتار موضعی انتهای اعضا و

آزمایش‌های عضو کامل با شرایط انتهایی مزبور صورت پذیرفته و نتایج پس از تجزیه و تحلیل با بهره‌گیری از دانش مهندسی سازه و قضاوت مهندسی با رعایت جانب احتیاط مکفی به کار برده شود.

۶-۲-۳-۲- طراحی اعضای تحت تأثیر نیروی محوری فشاری

اعضای فشاری به اعضایی از یک سازه فضاکار شبکه‌ای اطلاق می‌گردد که نیروی محوری فشاری اصلی‌ترین نیروی وارد بر آن عضو باشد. به عبارت دیگر عضو تحت تأثیر فشار مسلط رفتار نماید. طراحی اعضای فشاری باید با توجه به نکات زیر انجام گیرد:

الف) طراحی با استفاده از روش حالت حدی نهایی انجام شود.

ب) ضریب طول مؤثر اعضای فشاری با در نظر گرفتن نوع سازه، شرایط اتصالات اعضا به پیوندها در ابتدا و انتهای عضو و میزان انعطاف‌پذیری اتصالات و پیوندها به روش‌های تحلیل عددی و یا تحلیل تجربی تعیین شده و به تأیید مرجع کنترل طراحی برسد.

پ) در حالت کلی طول عضو فشاری را می‌توان از مرکز تا مرکز پیوندها در نظر گرفت. در صورتی که صلیب محوری پیونده به اندازه کافی نسبت به سختی محوری و سختی خمشی عضو، بزرگ باشد می‌توان طول عضو را در نظر گرفتن طول قسمت صلب پیونده کاهش داد.

ت) توصیه می‌شود به‌طور کلی ضریب لاغری اعضای فشاری در سازه‌های فضاکار از ۲۰۰ فراتر نرود، ولی در صورتی که با توجه به منشأ و ماهیت کنش‌های محتمل معیارهای طراحی سازه، علاوه بر شرایط اجرایی سازه در زمان ساخت، حمل و نقل، بافت و نصب سازه، اجازه دهد، می‌توان مشروط به تأیید مرجع کنترل‌کننده طرح از این محدودیت عدول کرد.

ث) میزان لاغری موضعی و حداقل نسبت بعد به ضخامت اعضا و اجزای سازه‌ای نیز باید با توجه به موارد زیر تعیین گردد:

- در اثر تنش‌های ناشی از نیروهای طراحی، کماتش، تسلیم و شکست موضعی ایجاد نشود. در محاسبه نیروهای طراحی ملحوظ نمودن شرایط مراحل ساخت، حمل، بافت و نصب مرحله‌ای و کامل و شرایط نگهداری اجباری است.
- ضخامت‌ها با فن‌آوری‌های متداول جوش‌کاری سازگاری داشته باشند.
- کاهش ضخامت در شرایط محیطی خورنده، باعث تضعیف بیش از حد اجزا منجر به عدم کفایت مقاومتی یا بروز کماتش موضعی یا شکست نگردد.

ج) نوع مقطع عضو فشاری از نقطه نظر کماتش موضعی (فشرده، نیمه‌فشرده و لاغر) باید تعیین شده و در صورت نیاز، کنترل‌های لازم برای مقابله با کماتش موضعی مطابق مقررات ملی ایران- مبحث دهم انجام گیرند.

چ) بسته به مقیدبودن یا مقید نبودن عضو فشاری، کنترل‌های لازم برای مقابله با کماتش کلی عضو باید مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ایران انجام گیرند.

ح) در طراحی اعضای فشاری، در صورتی که روش خاص ساخت منجر به بروز تنش‌های پسماند در اعضا گردد، مشروط بر آنکه الگوی تنش پسماند در کماتش اجزای عضو تأثیرگذار باشد، باید آثار تنش‌های مذکور به طور مناسبی مطابق با آیین‌نامه‌های معتبر در محاسبات ملحوظ شوند.

خ) در صورتی که ناکاملی هندسی عضو فشاری (انحنای اولیه عضو در وسط) از مقدار $\Delta = 0.001L$ بیشتر باشد، در تحلیل کل مجموعه باید آثار ناکاملی از روش‌های تحلیل غیر خطی با در نظر گرفتن هندسه نزدیک به واقعی اعضا منظور و نتایج تحلیل با توجه به این آثار در طراحی عضو ملحوظ شوند.

د) در موارد اعمال برون محور بار بر عضو فشاری، آثار ثانویه برون محوری باید مطابق آیین‌نامه‌های معتبر منظور گردند.
ذ) بسته به شکل مقطع از نقطه نظر باز یا بسته بودن یا ساده و ترکیبی بودن، طراحی عضو فشاری باید مطابق با مقررات ملی ساختمان ایران مبحث دهم انجام گیرد.

ر) جوش‌ها و پیچ‌های انتهایی و یا وصله میانی اعضایی که در همه حالات بارگذاری، نیروی آنها فشاری بوده و یا تحت برخی از ترکیب بارها نیروی کششی اندکی بر آنها وارد می‌شوند، باید مقاومت لازم در مقابل بزرگترین مقدار نیروی کششی محتمل و در عین حال یا یک سوم نیروی فشاری وارده را کششی داشته باشند.

ز) از آنجا که اعضای فشاری در سازه‌های فضاکار می‌توانند ترکیبی از عضو اصلی، قطعات انتهایی و پیچ باشند، طراحی باید بر اساس مقاومت ضعیف‌ترین جزء در مقابل نیروی فشاری وارده انجام گیرد. توصیه می‌شود طراحی تحت کنترل کمانش کلی عضو صورت گیرد.

ژ) جزییات اجرایی انتهایی اعضا، در موارد خاصی به بررسی تفصیلی و مرجحاً انجام آزمایش نیاز خواهند داشت. آثار رفتار خاص اجزای انتهایی یا پیوندهای نیامی تحت فشار (یا ترکیب فشار در امتداد عضو و کشش در امتداد متعامد) باید پس از به دست آوردن اطلاعات مربوط به نحوه رفتار موضعی در رفتار مجموعه سازه ملحوظ گردند. این آثار می‌توانند قابل ملاحظه باشند و صرف نظر کردن از این آثار بدون مطالعه کافی مجاز نمی‌باشد.

۶-۲-۳-۳- طراحی اعضای تحت تأثیر خمش

اعضای خمشی به اعضایی از سازه فضاکار شبکه‌ای اطلاق می‌گردد که لنگر خمشی به عنوان تلاش مؤثر و مسلط بر رفتار آن عضو عمل نماید. طراحی اعضای خمشی باید با توجه به نکات زیر انجام گیرد:

الف) طراحی با استفاده از روش حالت حدی نهایی انجام شود.

ب) نوع مقطع عضو خمشی از نقطه نظر کمانش موضعی (مقاطع فشرده، غیرفشرده و یا لاغر) باید تعیین شده و بسته به وضعیت تکیه‌گاه جانبی آن طراحی مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران انجام گیرد.

پ) بسته به شکل مقطع، کنترل‌های لازم برای مقابله با کمانش موضعی و کمانش جانبی - پیچشی و کمانش پیچشی - خمشی مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران انجام گیرد.

ت) بسته به شرایط بهره‌برداری که در این آیین‌نامه ذکر شده، کنترل‌های لازم در مورد تغییر شکل اعضای خمشی به عمل آید.

ث) از آنجا که در اکثر موارد لنگر خمشی با برش همراه است، بنابراین ضروری است کنترل‌های لازم مربوط به مقاومت برشی مقطع نیز صورت گیرند.

ج) اعضای سازه بایستی علاوه بر خمش ناشی از وزن خود عضو، خمش ناشی از اثر وزن حداقل یک فرد نصاب (حدود ۱۰۰ کیلوگرم) را در وسط عضو در حالتی که نیروهای مؤثر بر عضو در تحلیل سازه صرفاً برای بارهای مرده محاسبه شده باشد، تحمل نماید.

چ) هرگونه موارد خاصی که در اعضای خمشی سازه‌های فضاکار از قبیل شرایط انتهایی، به ویژه میزان صلیبیت یا انعطاف‌پذیری اتصالات، پیش می‌آیند، ملاحظات مربوط مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران رعایت شوند. در حالات خاص رفتار کلی عضو با تحلیل تفصیلی و یا انجام آزمایش باید تعیین شده و نتایج حاصله در طراحی مجموعه سازه منظور گردد.

تفسیر- به‌طور کلی در حیطه تغییر شکل‌های کوچک، مفاهیم فوق و بهره‌گیری از روش‌های طراحی ارائه شده در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران، در طراحی اعضا کفایت می‌نماید. نکته حایز اهمیت در تخمین میزان انعطاف‌پذیری اتصالات، میزان انعطاف‌پذیری اجزای اتصال و پیوندها، شرایط سرحدی، میزان دوران پیوندها و جابه‌جایی نسبی آنهاست که در حیطه تغییرمکان‌های بزرگ می‌تواند در رفتار کلی سازه تأثیرگذار باشد و در آن حالت لازم است تحلیل غیرخطی سازه فضاکار با ملحوظ داشتن آثار غالب غیرخطی و از جمله تغییرمکان‌های بزرگ و کرنش‌های بزرگ به‌عمل آمده و طراحی با توجه به این آثار به‌عمل آید.

۶-۲-۳-۴- طراحی اعضای تحت تأثیر ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی

این‌گونه اعضای سازه فضاکار شبکه‌ای به اعضای اطلاق می‌گردد که تحت اثر توأم لنگر خمشی و نیروی محوری می‌باشند، به‌گونه‌ای که نمی‌توان از اثر یکی از آنها صرف‌نظر نمود. طراحی این‌گونه اعضا باید با توجه به نکات زیر انجام گیرد:

الف) طراحی با استفاده از روش حالت حدی نهایی انجام شود.

ب) متناسب با نوع نیروی محوری (کششی یا فشاری)، طراحی عضو برای اثر توأم کشش محوری و لنگر خمشی یا اثر توأم فشار محوری و لنگر خمشی مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران صورت پذیرد.

پ) ملاحظات ذکرشده در بند ۳-۲-۶-۱ برای اعضای کششی، بند ۳-۲-۶-۲ برای اعضای فشاری و بند ۳-۲-۶-۳ برای اعضای خمشی، باید در طراحی این‌گونه اعضا تحت آثار ترکیبی این تلاش‌ها مدنظر قرار گیرد.

۶-۲-۴- ملاحظات در مورد طراحی اجزای سازه‌ای و اعضای سازه‌های فضاکار

الف) خمش ناشی از جزییات انتهایی اعضای سازه‌ای

در صورتی که انتهای اعضا آزادی چرخش نداشته باشد، در این حالت لازم است جزییات انتهایی عضو به‌نحوی طراحی گردد که قابلیت تحمل نیروهای محوری همراه با لنگرهای خمشی و پیچشی وارده را داشته باشد.

در صورتی که جزییات انتهایی عضو به‌نحوی طراحی و اجرا شده باشد که آثار برون محوری اعمال گردد، (برای مثال در حالت اتصال نبشی‌ها توسط یک بال) به ویژه اگر تعداد ردیف‌های پیچ یا طول جوش کافی نباشد، اثر این برون محوری باید به‌طور موضعی برای اتصال، در مقیاس بزرگ‌تر برای عضو و در مقیاس کلی برای مجموعه سازه منظور گردد.

ب) لهیدگی

تنش‌های تماسی لهیدگی باید برای محل تماس عضو فشاری به پیونده، پیچ‌های برشی، برش‌گیرها در بعضی از انواع پیونده‌های صفحات تاخورد، پیچ‌های کششی، سطح تماس مخروطی‌ها و شش پر (غلاف)ها کنترل گردد. برای مثال، در حالتی که نیروهای فشاری در طراحی اعضا حاکم باشند، در سیستم سازه‌های فضاکار با پیونده گوی‌سان، کنترل لهیدگی غلاف ضروری می‌باشد.

ابعاد و مصالح مخروطی‌های انتهایی اعضا و پیونده‌ها باید به نحوی اختیار گردند که تحت تأثیر کنش‌های بحرانی، میزان تنش‌های لهیدگی، برشی و ترکیبی (مانند تنش فون میسس) از حدود مجاز که در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران ارایه شده است، تجاوز ننماید.

برای جلوگیری از تمرکز تنش‌های ناخواسته لهیدگی، لازم است بعضی از سطوح با انحنای خاصی تراشیده شوند، به عنوان نمونه می‌توان به تراش سطح تماس پیونده گوی‌سان با شش پر (غلاف)، یا تراش رویه گوی و یا تراش زیر سرپیچ‌های مورد استفاده در پیونده‌های کاسان و یا استفاده از واشر محدب پیچ اشاره نمود.

تفسیر - انواع پیونده‌ها و اجزای آن‌ها در پیوست ۲ ارایه شده است.

پ) میزان لاغری موضعی و حداقل نسبت بعد به ضخامت اعضا و اجزای سازه‌ای نیز باید با توجه به موارد زیر تعیین گردد:

- ۱) تنش‌های ناشی از نیروهای طراحی، منجر به بروز کماتش، سیلان و شکست موضعی نگردند.
- ۲) در محاسبه نیروهای طراحی شرایط مراحل ساخت، حمل، بافت و نصب مرحله‌ای و کامل و شرایط بهره‌برداری و نگهداری باید ملحوظ گردند.
- ۳) ضخامت‌ها در اتصالات جوشی به میزانی منظور گردند که عملیات جوش‌کاری با توجه به نوع و روش جوش‌کاری امکان‌پذیر بوده، منجر به پارگی و شکست فلز مبنا نگردد.
- ۴) کاهش ضخامت‌ها در شرایط محیطی خورنده، با توجه به طول عمر مفید و نحوه نگهداری، نباید به میزانی باشد که باعث تضعیف اجزا و عدم کفایت لازم آن‌ها از دیدگاه مقاومت در برابر تلاش‌های وارده، خستگی و سایر پدیده‌های ذریبط گردد.

۶-۳- طراحی اتصالات و پیونده‌ها**۶-۳-۱- کلیات**

الف) باتوجه به آنکه رفتار سازه‌های فضاکار متأثر از نوع اتصالات و پیونده‌ها می‌باشد، در طراحی سازه‌های فضاکار فرض نیز فرضیات مدل‌سازی در ارتباط با رفتار اتصال و پیونده نقش بارزی در نتایج حاصله خواهند داشت. به منظور شناسایی رفتار سازه فضاکار و مدل‌سازی واقع‌گرایانه و تدقیق محاسبات سازه‌ای، لازم است دسته‌بندی مناسبی از اتصالات و پیونده‌ها به عمل آید.

ب) علی‌رغم تنوع اتصالات و پیونده‌ها در انواع سازه‌های فضاکار، دسته‌بندی آنها از سه دیدگاه اساسی زیر می‌تواند صورت گیرد:

- ۱) دسته‌بندی از دیدگاه میزان صلبیت (میزان انعطاف‌پذیری)
- ۲) دسته‌بندی از دیدگاه روش اجرای اتصال
- ۳) دسته‌بندی از دیدگاه سیستم‌های پیونده‌ها و شیوه‌های ساخت و مصالح مربوط

پ) فرضیات در نظر گرفته شده در مدل سازی اتصالات و پیوندها برای تحلیل سازه، باید به گونه‌ای هماهنگ و سازگار در طراحی اتصالات و پیوندها ارضا شوند. به این منظور خواصی مانند میزان صلبیت اتصالات و پیوندها، تغییر شکل پیوندها، میزان مقاومت اتصال، رفتار پسماند اتصال و میزان میرایی آن، که از عوامل اصلی و مبانی طراحی اتصال و پیوندها به شمار می‌روند، باید متناسب با فرضیات مدل سازی اتصالات و پیوندها در مرحله تحلیل، طراحی شوند.

۶-۳-۲- دسته بندی اتصالات

میدان حاکم تنش‌ها در اتصالات سازه‌های فضاکار از تنوع خاصی برخوردار است. به نحوی که یک اتصال یا پیونده می‌تواند به تنهایی یا همزمان تحت اثر نیروهای محوری، برشی و لنگرهای خمشی و پیچشی چند محوری قرار گیرد. در تعیین نوع این نیروها و میزان آنها، میزان صلبیت اتصال، روش‌های اجرای اتصال و نوع سیستم‌های پیونده تأثیر بسزایی در رفتار اتصال خواهد داشت. بنابراین به منظور دسته بندی جامع، در این آیین نامه اتصالات و پیوندها در سازه‌های فضاکار از این سه دیدگاه دسته بندی می‌شوند.

۶-۳-۲-۱- دسته بندی از دیدگاه میزان صلبیت

یکی از معیارهای اساسی در طراحی اتصالات و پیوندها در سازه‌های فضاکار، فرضیات به کار رفته در مدل سازی اتصالات در مرحله تحلیل سازه فضاکار می‌باشد که مبتنی بر صلبیت اتصالات و پیوندها می‌باشد. فرض میزان صلبیت اتصالات نه تنها بستگی به نوع اتصال، اجزا و مصالح آن دارد، بلکه به نوع تاشه و ابعاد سازه فضاکار نیز وابسته است. از سوی دیگر، صلبیت با توجه به تغییر شکل‌های ممکن در اتصال می‌تواند محوری، برشی، خمشی، پیچشی و یا ترکیبی از آنها (به صورت اندرکنش آنها) تعریف شود که بسته به پروژه مورد نظر باید مدنظر قرار گیرد. در این مرحله دسته بندی اتصالات و پیوندهای سازه فضاکار بر اساس صلبیت خمشی در نظر گرفته شده است. بر اساس این اتصالات به سه نوع متفاوت دسته بندی می‌شوند:

(۱) اتصال مفصلی

(۲) اتصال صلب

(۳) اتصال نیمه صلب

طراحی جزییات انواع اتصالات با توجه به شاخص‌هایی که در بندهای زیر تعریف می‌شوند، باید به نحوی صورت گیرد، که رفتار اتصال با فرضیات تحلیل سازگار باشد.

۶-۳-۲-۱-۱- اتصال با عملکرد نزدیک به مفصل

اتصال با عملکرد نزدیک به مفصل تلقی خواهد شد که

(۱) قابلیت اندکی برای انتقال لنگر عضو داشته باشد. اتصالی که قادر به انتقال لنگر گیرداری عضو تا میزان حداکثر ۲۰٪

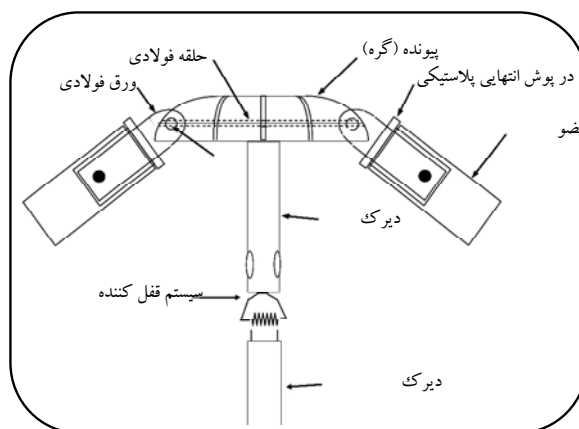
لنگر گیرداری عضو باشند به طور معمول در این دسته طبقه بندی می‌شوند،

(۲) در میدان حاکم تلاش‌های اتصال مقدار لنگر ناچیز باشد.

شاخص اتصال در مورد این نوع از اتصالات کوچک تر یا برابر با ۰/۲ در نظر گرفته می‌شود.

تفسیر- در مورد نحوه تعیین شاخص اتصال به پیوست ۳ این آیین نامه مراجعه شود.

در شکل (۱-۶) نمونه‌ای از اتصال با عملکرد نزدیک به مفصل نشان داده شده است.



شکل (۱-۶)

۶-۳-۲-۱-۲- اتصال با عملکرد نزدیک به صلب

اتصال با عملکرد نزدیک به صلب تلقی خواهد شد که:

(۱) قادر باشد حداقل ۹۰٪ لنگر عضو را انتقال دهد؛

(۲) در صورت عدم وجود لنگر در اتصال، عملاً تغییر شکل‌های دورانی وجود نخواهد داشت و فرض رفتار صلب حتی برای یک اتصال مفصلی نیز صادق خواهد بود.

حداقل شاخص اتصال در مورد این نوع اتصالات برابر با $0/8$ و یا بزرگ‌تر در نظر گرفته می‌شود.

تفسیر - در مورد نحوه تعیین شاخص اتصال به پیوست ۳ این آیین‌نامه مراجعه شود.

در شکل (۲-۶) نمونه‌ای از اتصال با عملکرد نزدیک به صلب نشان داده شده است.



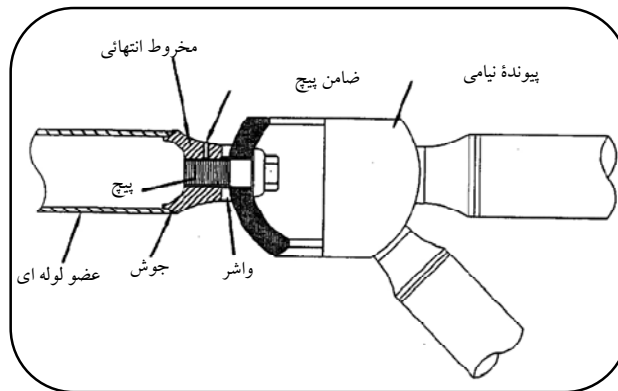
شکل ۲-۶: نمونه‌ای از اتصال با عملکرد نزدیک به صلب

۳-۱-۲-۳-۶ - اتصال با عملکرد نیمه‌صلب

اتصال با عملکرد نیمه‌صلب تلقی خواهد شد که بتواند لنگری مابین مقادیر ۲۰٪ و ۹۰٪ لنگر عضو را تحمل و انتقال دهد. شاخص اتصال در مورد این نوع اتصالات بسته به میزان قابلیت انتقال لنگر بین ۰/۲ و ۰/۸ می‌باشد.

تفسیر - در مورد نحوه تعیین شاخص اتصال به پیوست ۳ این آیین‌نامه مراجعه شود.

در شکل (۳-۶) نمونه‌ای از اتصال با عملکرد نیمه‌صلب نشان داده شده است.



شکل ۳-۶: نمونه‌ای از اتصال با عملکرد نیمه‌صلب

۳-۲-۲-۳-۶ - دسته‌بندی از دیدگاه روش اجرای اتصال

در طراحی اتصالات نه تنها فرضیات به کار رفته در ارتباط با صلبیت اتصالات باید واقع‌گرایانه و قابل حصول باشد، بلکه نحوه اجرا و ساخت اتصال در طراحی آن نقش اساسی دارد. با توجه به تنوع اتصالات و سیستم‌های پیونده در سازه‌های فضاکار از دیدگاه شیوه ساخت از جمله اتصالات و پیونده‌های پیش‌ساخته یا به‌صورت ساخت درجا یا قابلیت یا فقدان مونتاژنمودن سازه در پای کار، طیف وسیعی از نوع اتصالات در سازه‌های فضاکار ابداع گردیده است. که از دیدگاه اجرایی شامل اتصالات جوشی، پیچی، پرسی، کام و زبانه‌ای و یا ترکیبی از این روش‌ها می‌گردد که در نحوه طراحی هر کدام از آنها معیارهای مربوط باید به کار گرفته شوند.

در دسته‌بندی اتصالات از نقطه‌نظر نحوه اجرای اتصال، نه تنها نحوه اتصال می‌تواند عامل اساسی در طراحی باشد، بلکه اجزای به کار رفته و شیوه اتصالات آنها نیز حایز اهمیت است. به‌عنوان مثال، در اتصال جوشی، جوش کاری ورق‌های مستوی، استوانه‌ای و کروی با شیوه‌های اجرایی متفاوت ولی متناسب با هندسه اتصال به کار گرفته می‌شود.

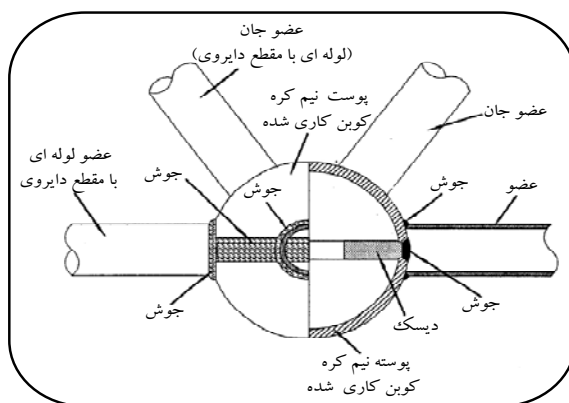
در صورت استفاده از اتصالات پرچی، معیارهای خاص آنها نیز باید ملحوظ گردند.

در صورتی که تعیین صلبیت اتصالات با توجه به ماهیت و اجزای اتصالات به روش‌های تحلیلی میسر نباشد، برای آن اتصالات باید آزمایش‌های لازم برای استخراج منحنی‌های رفتاری لنگر- دوران (چرخش) صورت پذیرفته و بر اساس مفاد بند ۳-۲-۱، از دیدگاه صلبیت دسته‌بندی شوند.

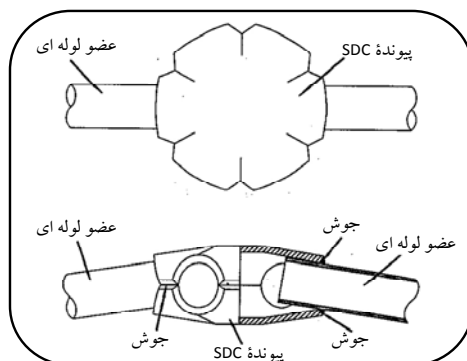
تفسیر - در خصوص آزمایش‌های مذکور، به فصل هفتم - طراحی به کمک آزمایش مراجعه شود.

۶-۳-۲-۱- اتصالات جوشی

در اتصال جوشی همان‌گونه که از عنوانش نمایان است، از جوش برای اتصال اعضا به پیوندها و یا کل اجزای اتصال و یا اتصال مستقیم اعضا به یکدیگر استفاده می‌شود. نمونه‌هایی از این نوع اتصالات سازه‌های فضاکار، در شکل‌های ۴-۶ و ۵-۶ نشان داده شده است.



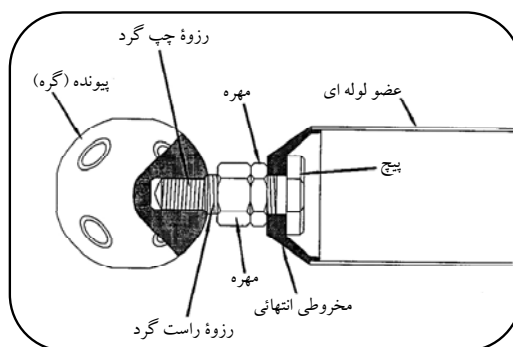
شکل ۴-۶: نمونه‌ای از اتصال جوشی



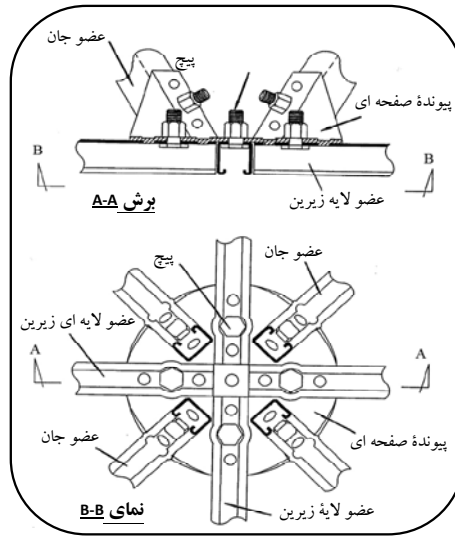
شکل ۵-۶: نمونه‌ای از اتصال جوشی

۶-۳-۲-۲- اتصالات پیچی

در اتصال پیچی همان‌گونه که از عنوانش مشخص است از پیچ به عنوان وسیله اتصال اعضا استفاده می‌شود. نمونه‌هایی از این نوع اتصالات در سیستم‌های متفاوت سازه‌های فضاکار در شکل‌های ۶-۶ و ۷-۶ نشان داده شده است.



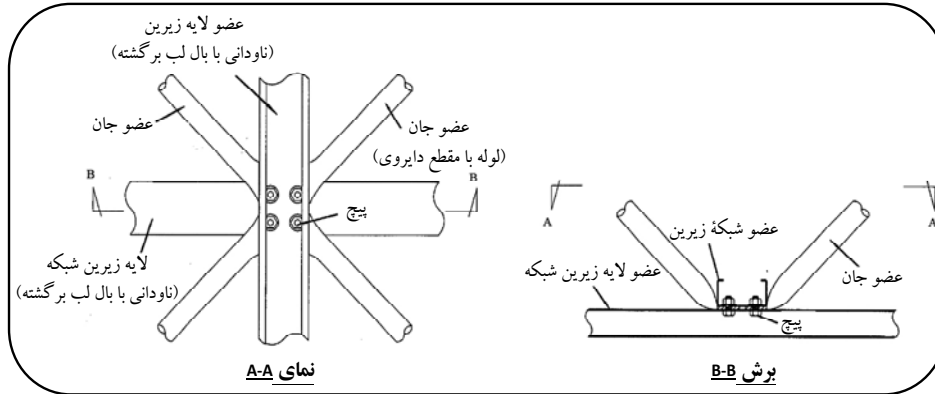
شکل ۶-۶: نمونه‌ای از اتصال پیچی



شکل ۶-۷: نمونه‌ای از اتصال پیچی

۶-۳-۲-۲-۳-۳- اتصال پرسی

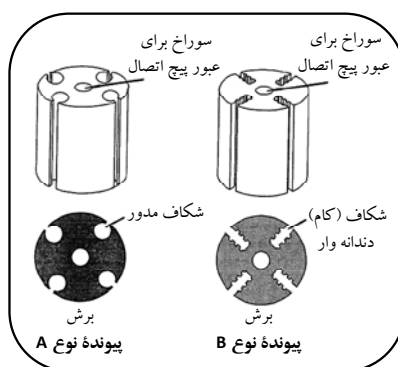
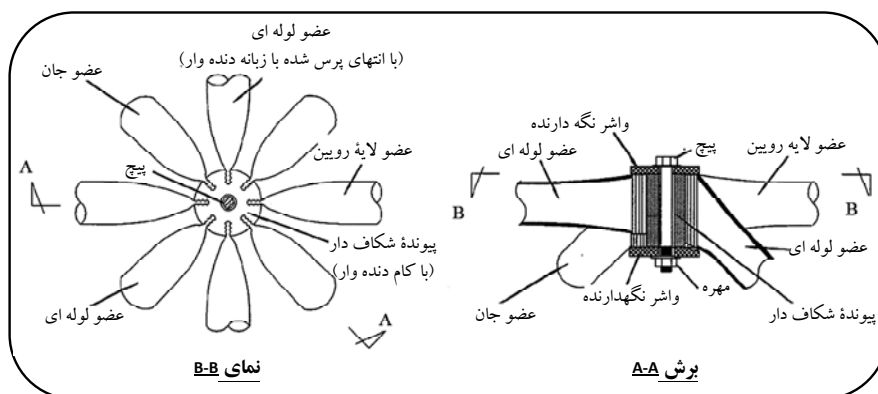
در اتصال پرسی برای اجرای اتصال، انتها یا قسمتی از اعضا پرس می‌شوند. در شکل ۶-۸ نمونه‌ای از این نوع اتصال نشان‌داده شده است.



شکل ۶-۸: نمونه‌ای از اتصال پرسی

۶-۳-۲-۲-۴- اتصالات کام و زبانه‌ای

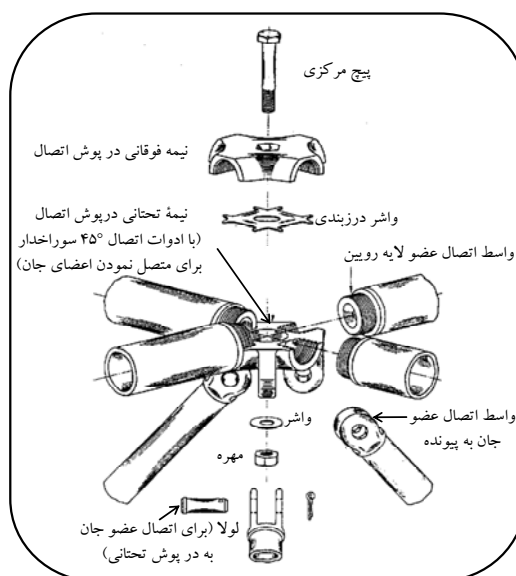
در این نوع از اتصال از سیستم کام و زبانه برای تأمین اتصال استفاده می‌شود. در شکل ۶-۹ نمونه‌ای از این نوع اتصال نشان‌داده شده است.



شکل ۶-۹: نمونه‌ای از اتصال کام و زبانه‌ای

۶-۳-۲-۵- اتصالات ترکیبی

اتصالات ترکیبی اتصالاتی را شامل می‌شوند که ترکیبی متناسب از برخی از انواع اتصالات جوشی، پیچی، پرسی و یا کام و زبانه‌ای باشند. در شکل ۶-۱۰ نمونه‌ای از این نوع اتصال نشان داده می‌شود.



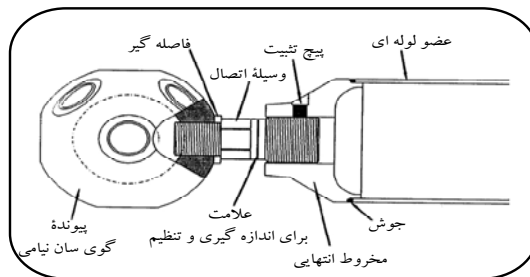
شکل ۶-۱۰: نمونه‌ای از اتصال ترکیبی

۳-۲-۳-۶- دسته‌بندی از دیدگاه مدول‌های مبنا

بسته به نوع اعضای سازه‌های فضاکار، ملاحظات صنعتی، تجاری و اقتصادی و همچنین جنبه‌های رفتاری سازه‌ای، انواع گوناگون سیستم‌های پیوندها ابداع گردیده‌اند. در دسته‌بندی کلی، سیستم‌های متنوع مزبور را می‌توان در دو رده مهم سیستم‌های پیوندهای (گرهی) و سیستم‌های واحدی (مدوله) مورد بررسی قرار داد.

۱-۳-۲-۳-۶- سیستم‌های پیوندهای

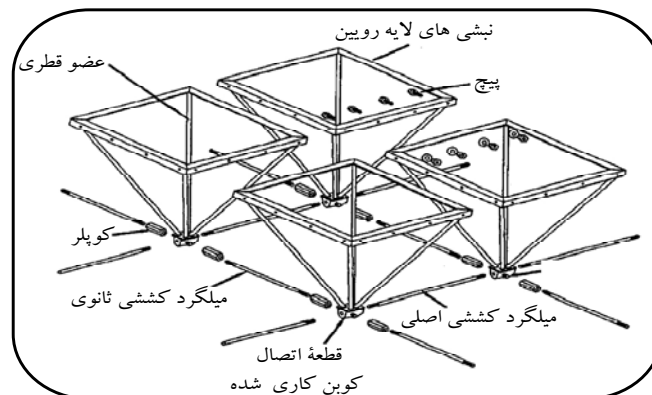
در این سیستم‌ها پیوندها به صورت واسطه‌ای بین اعضا عمل می‌نمایند. این سیستم‌ها با توجه به نوع کاربرد آنها در سازه‌های فضاکار و اجزای تشکیل‌دهنده آنها به پنج گروه: پیوندهای گوی‌سان، پیوندهای نیامی، پیوندهای صفحه‌ای، پیوندهای شکافی و پیوندهای پوسته‌ای تقسیم‌بندی می‌شوند. در شکل ۶-۱۱ نمونه‌ای از سیستم‌های شامل پیوندهای گوی‌سان نشان داده شده‌است.



شکل ۶-۱۱: نمونه‌ای از سیستم‌های پیوندهای گوی‌سان

۲-۳-۲-۳-۶- سیستم‌های واحدی

این نوع سیستم‌ها، از مدول‌هایی تشکیل شده‌اند که شامل دو یا چند جزء متصل بهم می‌باشند. فرم‌های متنوع این مدول‌ها، انواع متنوعی از سیستم‌های واحدی را به وجود آورده‌اند. متداول‌ترین انواع این سیستم‌ها با توجه به کاربرد گسترده آنها در سازه‌های فضاکار شامل سیستم‌های موسوم به Space Deck, Unibat, Cubic, Diamond و Harley تقسیم‌بندی می‌گردند. در شکل ۶-۱۲ سیستم space deck به عنوان نمونه‌ای از سیستم‌های واحدی نشان داده شده‌است.



شکل ۶-۱۲: نمونه‌ای از سیستم‌های واحدی

تفسیر - مجموعه‌ای از جزئیات سیستم‌های مذکور در فوق در پیوست ۲ ارایه شده است.

در استفاده از سیستم‌های تجاری مورد اشاره باید محدودیت‌های هر یک در نظر گرفته شده و تناسب آن برای کاربری مورد نظر مورد کنترل قرار گیرد در مورد سیستم‌های تجاری باید ضوابط ویژه طرح و ساخت و نصب آنها برای کاربری خاص به تصویب مراجع ذیصلاح رسیده و کنترل‌های لازم برای رعایت این ضوابط اعمال گردد. در غیر این صورت مقررات عمومی این آیین‌نامه برای چنین سیستم‌هایی نیز نافذ خواهند بود. در مورد سیستم‌های جدید که بالطبع برای دامنه کاربرد خاصی ایجاد می‌شوند، نیز باید معیارهای پذیرش برای کاربری مورد نظر ارضا گردند و پیش از کاربرد، به تأیید مراجع ذیصلاح رسیده باشند.

۳-۳-۶- مبانی و معیارهای طراحی اتصالات

۳-۳-۶-۱- دسته‌بندی پیوندها

در انتخاب نوع سیستم پیونده با توجه به نیازها و ملزومات طرح، از دو رده قابل تفکیک به شرح زیر می‌توان بهره‌گیری نمود:

- سیستم‌های پیونده استاندارد (صنعتی شده) (ر.ک. پیوست ۲)،

- سیستم‌های پیونده خاص، که بسته به ویژگی‌های پروژه و امکانات ساخت، توسط طراح پیشنهاد می‌شود.

بسته به تصمیمات اتخاذ شده در انتخاب نوع سیستم پیونده، به تناسب، مراحل طراحی مربوط دنبال می‌شود.

تفسیر - سیستم‌های پیونده استاندارد به سیستم‌هایی اطلاق می‌گردد که معیارهای پذیرش کشور سازنده را منطبق با ضوابط تعیین شده ارضا نموده و مجوز تولید انبوه صنعتی آن را اخذ کرده باشد. هرگونه تغییر در اجزای اتصال، که ناقض معیارهای پذیرش مذکور در فوق باشد، آن سیستم را از حالت استاندارد خارج خواهد ساخت و در چنین حالتی باید ملاحظات مربوط به پیوندهای خاص در نظر گرفته شوند.

۳-۳-۶-۲- مبانی و معیارهای طراحی سیستم‌های پیونده استاندارد

الف) انتخاب سیستم پیونده

ملاحظات زیر در انتخاب سیستم پیونده در نظر گرفته می‌شوند:

۱- ملاحظات معماری

۲- ملاحظات اقتصادی (امکان دسترسی و غیره)

۳- ملاحظات عملکردی

ب) مدل‌سازی و تحلیل و طراحی

۱- براساس طرح اولیه سازه فضاکار، ابعاد اولیه سیستم پیونده انتخاب می‌شود.

۲- طبق مفاد بند ۳-۲-۱ (دسته‌بندی اتصالات از دیدگاه میزان صلبیت)، نوع اتصال و میزان صلبیت آن اختیار می‌گردد.

۳- مدل‌سازی و تحلیل سازه بر اساس اطلاعات فوق انجام پذیرفته و با استفاده از روش آزمون و خطا و طی فرایند تکرار در تحلیل و طراحی مجدد، باید در نهایت همگرایی لازم بین فرضیات به کار رفته در مدل‌سازی با نتیجه تحلیل نهایی

حاصل شود. به عبارت دیگر، بر اساس نیروهای موجود در سیستم پیونده، فرضیات مربوط به صلبیت سیستم، باید همساز و هماهنگ شود.

(پ) کنترل‌های لازم برای ارضای معیارهای طراحی

در سیستم‌های استاندارد، بسته به نوع و تلاش‌های اعضای طراحی شده، ابعاد سیستم پیونده متناظر اختیار می‌گردد و انتظار می‌رود با ارضای معیارهای پذیرش به شرح پیش‌گفته، کنترل‌های لازم از نظر ارضای ملزومات طراحی نظیر مقاومت، شکل‌پذیری، میزان تغییر شکل پیونده و اتصال، از طریق مطالعات آزمایشگاهی بر آنها انجام شده باشد. با این‌همه طراح موظف است که معیارهای لازم در طراحی پروژه مورد مطالعه خود را تعیین و کفایت اجزای سیستم مورد استفاده را برای کاربری مورد نظر کنترل نماید.

۶-۳-۳-۳- مبانی و معیارهای طراحی سیستم‌های پیونده خاص

(الف) طراحی ابعاد اتصال

ابعاد اتصال باید طوری اختیار شود که تنش و تغییرشکل حاصل از تحلیل در هر یک از حالت‌های زیر که بحرانی‌تر باشند، از حد تنش و تغییرشکل تعیین شده تجاوز ننماید.

۱- بر مبنای تحلیل سازه برای ترکیب کنش‌های مؤثر،

۲- بر مبنای درصدی از مقاومت اعضای متصل‌شونده (که توسط طراح برای تعیین ظرفیت اتصال در نظر گرفته می‌شوند)،

۳- بر مبنای حد تغییرشکل پذیرفته‌شده برای اتصال بر اساس فرضیات به کار رفته در مدل‌سازی و تحلیل.

(ب) کنترل صلبیت اتصال

بر اساس مفاد بند ۶-۳-۲-۱، فرض در نظر گرفته‌شده برای اتصال و میزان صلبیت آن باید کنترل شود. به عبارت دیگر برای کنترل صلبیت اتصال، با فرضیات به کار رفته باید از روش‌های تحلیلی قابل اعتماد و یا روش‌های تجربی مطابق با فصل هفتم این آیین‌نامه بهره‌گیری شود.

طراحی اجزای اتصال (به طور مثال شامل مخروطی، غلاف، پیچ و غیره) بسته به نوع اتصال از قبیل اتصال جوشی، پیچی، پرسی، کام و زبانه‌ای و یا ترکیبی و نیز محاسبه تنش‌های طراحی در مواردی که در این آیین‌نامه تصریح نشده باشد، بر اساس دیگر آیین‌نامه‌های معتبر صورت خواهد گرفت.

(پ) در مواردی که برای طراحی اجزای اتصال آیین‌نامه یا دستورالعمل معتبری موجود نباشد و روش‌های تحلیلی نیز منجر به نتایج قابل اعتمادی نمی‌گردند، باید از روش طراحی به کمک آزمایش مطابق فصل هفتم این آیین‌نامه استفاده شود.

(ت) موارد خاص در طراحی اجزای اتصال در سیستم‌های پیونده خاص

(۱) جوش

اندازه جوش‌ها در عین دارا بودن مقاومت کافی در مقابل نیروهای طراحی باید متناسب با ضخامت جداره اجزای سازه‌ای اختیار گردد. سیستم کنترل کیفیت جوش‌کاری برای کاهش نارسایی‌های ناشی از جوش‌کاری باید به نحو کارایی سازماندهی گردد.

تفسیر - نیروی حاکم بر طراحی عضو، لزوماً نیروی حاکم بر طرح جوش نیست؛ به عنوان مثال ممکن است عضو برای نیروی فشاری طرح شود در صورتی که لازم باشد جوش برای کشش طراحی شود.

۲) پیچ

در طرح سازه‌های فضاکار می‌توان از پیچ‌های قوی به صورت اتکایی و یا اصطکاکی استفاده نمود. پیچ‌های اتصال به‌ویژه اتصال عضو به پیونده باید مقاومت مورد نیاز در مقابل نیروهای طراحی را داشته باشند. نیروی برای طراحی عضو، لزوماً نیروی طراحی پیچ نمی‌باشد، به عنوان مثال، ممکن است نیروی حاکم بر طرح عضو از نوع فشاری بوده، ولی نیروی حاکم بر طرح پیچ از نوع کششی باشد.

بعضی از سیستم‌های سازه‌های فضاکار نیاز به ایجاد سوراخ در بدنه پیچ‌های انتهایی اعضا را دارند، در محاسبه مقاومت این پیچ‌ها باید سطح مقطع پیچ به اندازه قطر سوراخ ضرب در قطر پیچ کاهش یابد؛ مگر اینکه سوراخ روی قسمت بدون دندان پیچ‌ها قرار داشته و قطر سوراخ پیچ‌ها در حدی باشد که با محاسبه نشان داده شود که وجود سوراخ اثری در کاهش مقاومت پیچ ندارد.

۳) لغزش پیچ‌ها

در صورتی که رواداری اندازه سوراخ‌های پیچ‌ها در شرایط بارهای بهره‌برداری و یا بارهای نهایی باعث لغزش پیچ‌ها و در نتیجه باعث افزایش تغییرشکل‌ها و یا افزایش نیروها و یا تغییر جهت آنها گردد، بایستی این نوع عملکرد در تحلیل سازه‌ای و در طراحی اجزای آن منظور شود.

۴) مخروط‌های انتهایی

در صورت استفاده از مخروط‌های انتهایی، این قطعات بایستی مقاومت لازم در مقابل خمش و لهیدگی ناشی از نیروی کششی و فشاری پیچ مربوط را با رعایت حد تغییر شکل مناسب داشته باشند. همچنین باید برای برش استوانه‌ای دورادور پیچ کنترل گردند.

۵) در طراحی سازه‌های فضاکار شامل هرگونه اتصال به‌طور اعم و اتصال پیچی به‌طور اخص، باید مقاومت اتصال با حاشیه اطمینان مکفی افزون‌تر از مقاومت عضو اختیار شود.

۶-۴- طراحی تکیه‌گاه‌ها و دستگاه‌های تکیه‌گاهی

۶-۴-۱- طراحی تکیه‌گاه‌ها

طراحی تکیه‌گاه‌های سازه فضاکار باید با مفروضات اختیارشده در مدل‌سازی و تحلیل سازگاری داشته و با توجه به قیود حرکتی دورانی یا میزان آزادی‌های جابه‌جایی‌های افقی و قائم و چرخش‌های ناشی از کنش‌های ثقلی، تغییر دما و یا نیروهای برکنشی باد و غیره انجام گیرد.

عدم توجه به میزان جابه‌جایی‌های سازه فضاکار و پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های مربوط در شرایط متفاوت بارگذاری، می‌تواند باعث بروز صدمات جدی در سازه دستگاه‌های تکیه‌گاهی و سازه‌ها یا پایه‌های تکیه‌گاه گردد.

در حالتی که در اثر حذف تکیه‌گاه، منجر به ناپایداری کلی گردد یا در مورد تکیه‌گاه‌هایی که بیش از ۵۰٪ کل بارهای وارده در یک حالت بارگذاری را جذب می‌نمایند طراحی پایه‌ها، دستگاه‌های تکیه‌گاهی و اجزای بلافصل آن، باید برای ۱۲۵٪ نیروها و تلاش‌های ناشی از حالت بارگذاری مربوط صورت گیرد. طراحی این‌گونه تکیه‌گاه‌ها باید برای مقابله با نیروهای افقی ضربه‌ای (برای مثال بار ناشی از ضربه وسایط نقلیه در صورت احتمال وقوع) انجام گیرد، یا پایه‌های تکیه‌گاهی مزبور به طریقی در مقابل اعمال ضربه ناشی از وسایط نقلیه محافظت شوند. هنگامی که کنش‌ها و تغییرمکان‌ها در تکیه‌گاه‌ها دارای مقادیر قابل توجهی باشند، برای تأمین امکان تعامل کنش‌ها و تغییرمکان‌ها بین سازه و پایه‌ها، نیاز به طراحی خاص و استفاده از دستگاه‌های تکیه‌گاهی مناسب می‌باشد.

۶-۴-۲- طراحی دستگاه‌های تکیه‌گاهی

ظرفیت باربری و حرکتی دستگاه‌های تکیه‌گاهی هر سازه خاص باید با فرضیات به کارگرفته‌شده در طراحی کلی آن سازه سازگار باشد. اگر به تعریف فرایند طراحی توجه شود، معلوم می‌گردد این مشخصات برای هر تکیه‌گاه مانند مشخصات هر عضو دیگر سازه‌ای در هر گام طراحی انتخاب و سپس بررسی شده و در صورت لزوم تغییر می‌یابد. به این ترتیب هنگامی که طراحی سازه به انجام می‌رسد، سازگاری موردنظر نیز تأمین شده است. مشخصات مکانیکی دستگاه‌های تکیه‌گاهی و همچنین مقیدسازی یا ایجاد آزادی جابه‌جایی در امتدادهای موردنظر شرایط سرحدی سازه فضاکار و پایه‌های نگهدارنده آن را تبیین می‌نماید. پس از قطعیت این مشخصات در فرایند طراحی مجموعه و تعیین پوش بارها و جابه‌جایی‌ها، طراحی دستگاه‌های تکیه‌گاهی انجام می‌پذیرد.

۶-۴-۲-۱- الزامات حالات حدی

دستگاه‌های تکیه‌گاهی که بر اساس این آیین‌نامه طراحی می‌گردند، الزامات حالات حدی به شرح زیر را تأمین خواهند ساخت:

- حالت حدی خدمت‌رسانی

به دستگاه تکیه‌گاهی تحت تأثیر کنش‌های بهره‌برداری متعارف نباید به میزانی صدمه‌ای وارد آید که در کارایی و خدمت‌رسانی آن اثرگذار باشد و یا هزینه تعمیر زیادی را در طول عمر مفید آن ایجاد نماید.

- حالت حدی نهایی

مقاومت و پایداری دستگاه تکیه‌گاهی باید پاسخگوی میزان نیروهای اعمالی و جابه‌جایی‌های نهایی مفروض در طراحی باشد.

۶-۴-۲-۲- عمر طرح

طراحی دستگاه‌های تکیه‌گاهی و قطعات اتصالی آنها با در نظر گرفتن مسایل نگهداری و جایگزینی باید متناسب با عمر طرح سازه فضاکار به عمل آید.

۶-۴-۲-۳- پیش‌بینی‌های لازم برای جای‌گذاری، جابه‌جایی، تنظیم مجدد و دسترسی

هنگامی که عمر مفید دستگاه تکیه‌گاهی به طور قابل توجهی کمتر از عمر سازه فضاکار باشد، باید پیش‌بینی‌های لازم از جمله فضای مکفی برای دسترسی، بازرسی، برداشتن، جای‌گذاری و تعویض کل دستگاه تکیه‌گاهی یا بخش‌هایی از آن به عمل آید.

تمهیدات لازم برای جبران اثر اختلاف نشست‌ها و دوران‌های نامتجانس باید در طراحی پیش‌بینی گردد، مگر آنکه سازه به لحاظ سیستم با ویژگی‌های متفاوتی توان تحمل چنین اثرهایی را داشته باشد یا بتواند با چنین آثاری به‌طور سازگار تطابق یابد.

۶-۴-۲-۴-۶ دوام

طراحی جزییات دستگاه‌های تکیه‌گاهی باید نیاز به خدمات بعدی نظیر تمیزکردن و رطوبت‌گیری را برطرف کند. مصالح به کار رفته برای ساخت و حفاظت و معیارهای نگهداری در برابر خوردگی و زوال در برابر اثرهای محیطی باید چنان باشد که عملکرد صحیح دستگاه تکیه‌گاهی در طول عمر مفید آن تضمین گردد.

۶-۴-۲-۵-۶ قید حرکتی

وقتی لازم باشد قیودی برای ممانعت از حرکت انتقالی سازه به‌طور کلی، جزیی یا در امتداد خاصی ایجاد گردد، این قیود را می‌توان به‌عنوان جزیی از دستگاه تکیه‌گاهی یا به‌طور جدا از آن طراحی نمود. نیروهای وارده بر قیده‌های مزبور باید در طراحی دستگاه‌های تکیه‌گاهی و اتصالات آنها و در طراحی سازه فضاکار و پایه‌های تکیه‌گاهی در نظر گرفته شود. هرگاه مقابله با این نیروها به اصطکاک واگذار می‌شود، باید مقدار حد پایین ضریب اصطکاک حاصل از نتایج آزمایش در دسترس که با شرایط و جنس مصالح سطوح تماس در طول بهره‌برداری سازگار باشد، انتخاب شود.

۶-۴-۲-۶-۶ برگش

در موارد مستعد برگش، دستگاه تکیه‌گاهی و اتصالات آن باید چنان طرح شود که جدایی اجزا به مقدار کنترل‌شده‌ای محدود گردد و بتواند نیروهای مقاوم لازم را به‌منظور خنثی نمودن نیروهای بالابرنده، تأمین نماید.

۶-۴-۲-۷-۶ صفحات پخش بار دستگاه‌های تکیه‌گاهی

ابعاد صفحات پخش بار دستگاه‌های تکیه‌گاهی باید چنان تعیین شود که بارهای متمرکز به‌طور مناسب پخش‌شده و در هیچ موقعیتی از فشار مجاز بستر تجاوز ننماید. سطح مؤثر برای پخش بار را می‌توان از سطح تماس دستگاه تکیه‌گاهی با صفحه، به علاوه حاشیه‌ای برابر با کلفتی صفحه ضرب در تانژانت ۶۰ درجه (نسبت به مولفه عمود بر سطح تکیه‌گاه) در نظر گرفت. اگر سازه بستر تغییر شکل قابل ملاحظه‌ای داشته باشد، رفتار متقابل دستگاه تکیه‌گاهی و سازه باید در طراحی کلی منظور شده باشد.

۶-۴-۲-۸-۶ دستگاه‌های تکیه‌گاهی الاستومر

روش‌های محاسباتی این‌گونه تکیه‌گاه‌ها مدون شده است و طراحی آنها باید بر اساس آیین‌نامه‌های معتبر مربوط، مانند آیین‌نامه اروپا یا اشتو، صورت گیرد. ساخت و آزمایش آنها را نیز می‌توان بر اساس این آیین‌نامه‌ها انجام داد. شرکت‌های سازنده محصولات خود را دسته‌بندی کرده و اطلاعات فنی مربوط (توان باربری و حدود تغییرشکل‌ها و غیره) به هر یک از انواع تولیدات خود را در مدارک مشخصات فنی مربوط ارایه می‌دهند. طراح با توجه به نیاز خود می‌تواند دستگاه تکیه‌گاهی مناسب را از مجموعه تولیدات مزبور انتخاب نماید. در موارد خاص، ممکن است دستگاه تکیه‌گاهی متناسب با نیازهای خاص پروژه طراحی و ساخته شده و از طریق آزمایش رفتارشان مورد ارزیابی قرار گیرد.

۶-۴-۲-۹- دستگاه تکیه‌گاه‌های چنددورانی با بار زیاد

- دستگاه‌های تکیه‌گاهی قابل‌مهای

در دستگاه تکیه‌گاهی قابل‌مهای، قطعه‌ای به شکل گرده از الاستومر محدودشده تهیه و تحت فشار زیاد قرار می‌گیرد. این امر موجب می‌شود مواد الاستومر به طور مؤثری همانند مایع عمل نماید. اجزای دستگاه تکیه‌گاه قابل‌مهای در فصل ۴ تشریح شده‌اند. گرده نئوپرن یا لاستیک طبیعی در صفحه قابل‌مهای ماشین‌کاری شده محدود شده و بار قائم به گرده الاستومر توسط پیستون که در داخل جزء قابل‌مهای شکل قرار می‌گیرد وارد می‌شود. درگیری حلقه آب‌بندی، از فرار الاستومر در حد فاصل بین پیستون و قابل‌مهای جلوگیری می‌کند. مقاومت در مقابل نیروهای افقی از طریق سطح تماس بین پیستون و قابل‌مهای تأمین می‌شود. بارهای افقی و قائم از طریق پیستون و قابل‌مهای به صفحه زیرین و از طریق فشار و اتصالات مکانیکی به پایه‌های تکیه‌گاهی منتقل می‌شوند.

در آیین‌نامه‌های معتبر تخصصی، الزامات طراحی این تکیه‌گاه‌ها ارایه شده است. همچنین آیین‌نامه‌های مزبور استفاده از اصول مهندسی را برای طراحی دستگاه تکیه‌گاه‌های قابل‌مهای مجاز می‌دانند که شامل استفاده از تئوری‌های گسیختگی در محاسبات کلفتی بدنه قابل‌مهای نیز می‌باشد. ولی از آنجا که سازندگان این نوع تکیه‌گاه در طرح و ساخت آنها از آزمایش برای طراحی به طور گسترده استفاده کرده و رفتار آنها را بر اساس آزمایش نیز ارزیابی کرده‌اند، بهتر است طراحی این نوع تکیه‌گاه‌ها را به سازنده واگذار کرد و در مشخصات فنی قرارداد، بارها و حرکت‌ها تعیین گردند و همچنین مشخصات پیچ‌های مهاری، طول، فاصله، ضخامت صفحات زیرین و رویین نیز به اضافه ارتفاع لازم برای تعویض در مشخصات فنی قرارداد تعیین شوند.

مدارک طراحی و محاسبات مربوط یا گزارش آزمایش عملکرد باید توسط مهندس طراح کنترل و تأیید شود.

- دستگاه تکیه‌گاه‌های گرد

در دستگاه تکیه‌گاه‌های گرد، صفحه گردی از نوع الاستومر وجود دارد که تحت فشار بالا قرار می‌گیرد. گرده الاستومری در برابر فشار و دوران سخت بوده ولی به راحتی شکم می‌دهد. نیروی افقی از صفحه بالایی یا توسط میله برشی میانی یا حلقه محدودکننده محیطی منتقل می‌شود. حالت اخیر شبیه به دستگاه تکیه‌گاه قابل‌مهای است بدون آنکه گرده محدود شده باشد و یا آنکه نیازی به حلقه آب‌بندی باشد. طراحی این نوع از دستگاه‌های تکیه‌گاهی نیز بهتر است با ارایه نیازها و ملزومات طرح و رفتار مورد انتظار تحت اثر کنش‌های گوناگون به سازنده واگذار گردد.

- تکیه‌گاه‌های کروی

در دستگاه تکیه‌گاه‌های کروی، هم انتقال بار قائم و هم انتقال بار افقی از تماس کروی دو صفحه کاو و کوژ انجام می‌گیرد. سطح ارتباطی معمولاً از بالشتکی با اصطکاک پایین شامل تفلون، PTFE، و فولاد ضدزنگ تشکیل شده است. کلیه بارهای قائم به صورت شعاعی و کلیه بارهای افقی با توجه به هندسه کروی صفحات انتقال می‌یابد. در این مورد معمولاً به جهت ملاحظات اجرایی بار افقی، به میزان کسر محدودی از بار قائم در نظر گرفته می‌شود. طراحی این نوع از دستگاه‌های تکیه‌گاهی نیز بهتر است با ارایه نیازها و ملزومات طرح و رفتار مورد انتظار به سازنده واگذار گردد.

۵-۶- طراحی اجزا و پوشانه‌های غیرسازه‌ای

۱-۵-۶- اجزای غیرسازه‌ای

طراحی و اجرای جزییات اجزای غیرسازه‌ای باید زیر نظر و یا با هماهنگی مهندس طراح سازه انجام یابد. طراح سازه بایستی از نحوه اتصال اجزای غیرسازه‌ای و احتمال بروز آثار اندرکنشی متقابل آنها با سازه آگاه بوده و پیش‌بینی‌های لازم را به عمل آورد. با توجه به آنکه در این آیین‌نامه از اثر عملکرد توام پوشانه‌های غیرسازه‌ای و سازه فضاکار شبکه‌ای سخنی به میان نیامده است، فرض بر این است که طراحی به‌نحوی صورت می‌گیرد که اثر اندرکنشی فی‌مابین سازه و پوشانه ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن است.

۲-۵-۶- زیرسازی پوشانه

نصب پوشانه چه به‌صورت مستقیم بر اجزای سازه فضاکار و چه به‌صورت غیرمستقیم از طریق زیرسازی (نصب دستک‌های شیب‌بندی و پرلین‌ها) صورت گیرد، در دوره بهره‌برداری نباید به کارکرد اجزای سازه‌ای صدمه‌ای وارد سازد. همچنین در طراحی باید دقت گردد که در زمان تعمیر و تعویض پوشانه به اجزای سازه‌ای صدمه‌ای وارد نیاید. هر یک از دستک‌های شیب‌بندی و اتصالات مربوط باید قابلیت تحمل خمشی ناشی از اثر نیروی افقی، برابر 30% وزن یک تکنیسین نصاب پوشانه، در انتهای آزاد عضو را - بدون تغییرشکل زیاد - داشته باشد.

در حالتی که طراحی و نصب پرلین‌ها بدون درز انبساط صورت گرفته باشد، باید اطمینان حاصل شود که آثار ناشی از تغییرات دما منجر به بروز کمانش جانبی - پیچشی پرلین‌ها در حین انقباض یا شکست ادوات اتصال (درحین انبساط) نمی‌گردند. همچنین دستک‌های نگهدارنده کرنش‌ها باید برای نیروی برشی و لنگر خمشی ناشی از تغییر طول پرلین‌ها طراحی شوند. توصیه می‌شود در فواصل مناسب از درزهای انبساط آب‌بندی شده استفاده گردد.

۷

طراحی به کمک آزمایش

۷-۱- کلیات

طراحی سازه‌های فضاکار را می‌توان براساس ترکیب قانع‌کننده‌ای از محاسبات فنی سازه شامل محاسبات تحلیلی نظری، عددی و شیوه‌های شناخته‌شده طراحی سازه‌ها - مطابق ضوابط مندرج در فصل‌های دوم تا ششم - و در عین حال بررسی‌های تجربی (آزمایش‌های محلی و آزمایشگاهی) به نتیجه رساند. به‌طور معمول در مواردی که مدل‌ها و روش‌های محاسباتی قانع‌کننده‌ای برای تحلیل با دقت مورد نظر در دست نباشد، از مشاهدات و داده‌های حاصل از آزمایش بهره‌گیری و استنتاج به عمل می‌آید. در حالتی که تعداد زیادی از اعضا و اجزای مشابه یا واحدهای تکرارشونده در سازه فضاکار مورد استفاده قرار می‌گیرند، انجام آزمایش روی نمونه‌هایی که به طور تصادفی از واحدهای تکرارشونده انتخاب شده‌اند، بر اساس برنامه‌ای که توسط مسئولین کنترل و تضمین کیفیت تدوین خواهد شد، ضروری خواهد بود. همچنین در مواردی که نیاز به بررسی صحت و سقم مفروضات طراحی احساس شود، انجام آزمایش سهم بسزایی در اتخاذ تصمیمات قابل دفاع طراحی خواهد داشت.

برحسب نوع عامل و حالت حدی مورد نظر و تراز عملکردی ذریبط، لازم است در بهره‌گیری از آزمایش در تعیین کمیت‌های طراحی به سطح معینی از قابلیت اعتماد نایل شد. مسایل عدم قطعیت، از نظر آماری را نیز به دلیل محدودیت در تعداد آزمایش‌ها باید مد نظر قرار داد. به این ترتیب، در صورت لزوم، ضرایب پاره‌ای مرتبط با عدم قطعیت ناشی از طراحی و ساخت مدل آزمایش، در مقایسه با سازه واقعی، و همچنین شرایط آزمایش، در مقایسه با شرایط واقعی، در نتیجه‌گیری به منظور کاربرد در محاسبات طراحی اعمال خواهد گردید.

۷-۲- دسته‌بندی انواع آزمایش‌ها در تناسب با اهداف مطالعات

انواع آزمایش‌ها به شرح زیر قابل تفکیک می‌باشند:

۷-۲-۱

آزمایش‌هایی که برای تعیین مقاومت نهایی یا ویژگی‌های خدمت‌رسانی سازه یا اعضای سازه تحت تأثیر حالات ترکیب بار مشخصی به کار گرفته می‌شوند؛ مانند آزمایش‌های اعضای خرپاهای فضاکار تحت تأثیر نیروی محوری، آزمایش پیوندها تحت تأثیر نیروهای چند محوری، آزمایش روی واحدهای تکرارشونده یا مدول‌های سازه فضاکار از جمله مدول‌های هرمی شکل، آزمایش بارگذاری بر مدول‌های به مقیاس کوچک شده یا با مقیاس کامل از مجموعه یا زیرمجموعه سازه فضاکار به قصد بررسی الگوی توزیع تنش‌ها، حاشیه ایمنی در مقابل گسیختگی و یا مطالعه میزان تغییر مکان‌ها.

۷-۲-۲

آزمایش‌های تعیین خواص مصالح .

۳-۲-۷

آزمایش‌هایی که با نیت کاهش عدم قطعیت‌های مرتبط با کمیته‌ها یا پارامترهای منظور شده در مدل بارگذاری یا آثار ناشی از بارگذاری مشخصی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به عنوان نمونه بارزی از این گروه آزمایش‌ها، می‌توان از آزمایش‌های مدل‌های سازه‌های فضاکار در تونل باد یاد کرد.

۴-۲-۷

آزمایش‌هایی که برای کاهش عدم قطعیت‌های مرتبط با کمیته‌ها و پارامترهای مدل‌های رفتاری، ظرفیتی و مقاومتی سازه، زیر مجموعه سازه یا اجزای سازه به کار گرفته می‌شوند؛ مانند آزمایش‌های شناسایی میزان انعطاف‌پذیری پیوندها و اتصالات، آزمایش‌های تعیین مدل رفتاری اعضای فشاری، آزمایش به منظور بررسی آثار ناشی از عدم قطعیت در ابعاد، میزان نابه‌جایی‌های تصادفی، مقادیر پارامترهای مصالح و پارامترهای مرتبط با مدل‌سازی اثر اندرکنشی خاک و سازه.

۵-۲-۷

آزمایش‌هایی که به منظور شناخت و بررسی کیفیت تولیدات تحویل‌شده یا بررسی میزان همسازي و یکنواختی مشخصات تولیدات به کار گرفته می‌شوند؛ مانند آزمایش بر پیوندها یا به طور جزئی‌تر، پیچ‌های تهیه‌شده برای اتصالات سازه فضاکار.

۶-۲-۷

آزمایش‌های در حین ساخت که برای کسب اطلاعات لازم در شرایط واقعی سازه برای بخش‌هایی از کار مورد استفاده قرار داده می‌شوند؛ مانند آزمایش‌های بررسی میزان سفت‌شدگی پیچ‌ها در اتصال پیوندها، بررسی برقراری تماس در اتصالات تماسی، یا تعیین نیروهای کابل‌های سازه‌های فضاکار کابلی.

۷-۲-۷

آزمایش‌های کنترل رفتار واقعی سازه یا اعضای سازه‌ای پس از ساخت؛ مانند اندازه‌گیری تغییرمکان الاستیک تحت تأثیر بار مرده یا بارگذاری مشخص، آزمایش‌های تعیین پریودهای ارتعاش طبیعی سازه.

برای انواع آزمایش‌های مذکور در بندهای ۱-۲-۷ تا ۴-۲-۷، مقادیر طراحی باید از طریق اعمال روش‌های آماری با توجه به معیارهای پذیرش، به گونه‌ای مناسب تعیین گردد.

هرگاه هیچ‌گونه نتایج آزمایش قبلی روی نمونه‌های مشابه در زمان طراحی در اختیار نباشد، آزمایش‌های مورد اشاره در بندهای ۵-۲-۷ تا ۷-۲-۷ را می‌توان به عنوان آزمایش‌های پذیرش منظور نمود. مقادیر طراحی به‌طور معمول باید تخمین محافظه‌کارانه‌ای باشند که انتظار می‌رود معیارهای پذیرش را در شرایط واقعی ارضا نمایند.

۳-۷- انواع آزمایش‌ها

بر حسب نیاز، انواع آزمایش‌های زیر برای سازه‌های فضاکار به کار گرفته می‌شوند:

- آزمایش‌های خواص مکانیکی و متالورژیکی مصالح
- آزمایش‌های شناسایی رفتار پیوندها و اتصالات (استاتیکی، رفت و برگشت، دینامیکی، خستگی پرتواتر و کم تواتر)
- آزمایش‌های شناسایی رفتار اعضا و اتصالات (استاتیکی، رفت و برگشت، دینامیکی، خستگی پرتواتر و کم تواتر)
- آزمایش‌های شناسایی رفتار مدول‌ها و زیرمجموعه‌ها در مقیاس کامل (استاتیکی، رفت و برگشت، دینامیکی، خستگی پرتواتر و کم تواتر)
- آزمایش‌های شناسایی رفتار مدل‌های کوچک مقیاس زیرمجموعه‌ها و مجموعه سازه فضاکار (استاتیکی، رفت و برگشت، دینامیکی، خستگی پرتواتر و کم تواتر)
- آزمایش‌های تونل باد بر مدل‌های کوچک مقیاس
- آزمایش‌های مدل‌های سازه فضاکار بر میز لرزان (به مقیاس کوچک‌شده از مجموعه سازه و زیر مجموعه‌ها یا با مقیاس کامل از زیرمجموعه‌ها)
- آزمایش‌های ایمنی در مقابل حریق
- آزمایش‌های کنترل کیفیت در حین ساخت
- آزمایش‌های کنترل پس از اختتام ساخت (آزمایش بارگذاری برای مطالعه مقاومت و خدمت‌رسانی)
- آزمایش تحت شرایط محیطی ویژه (محیط خورنده، دمای کم و غیره)

۴-۷- برنامه‌ریزی و طراحی آزمایش‌ها

۱-۴-۷- موارد عمومی

قبل از انجام آزمایش لازم است طرح آزمایش در هماهنگی با مسئولان آزمایشگاه محل انجام آزمایش‌ها تهیه شود که شامل تمامی اهداف آزمایش، جزییات ساخت نمونه‌ها، نحوه انجام آزمایش، شیوه اعمال بارها و تعیین نوع، موقعیت و کیفیت ابزار اندازه‌گیری است. در طرح مزبور، به‌طور معمول نتایج مورد انتظار آزمایش، مشخصات نمونه‌های آزمایش یا شیوه نمونه‌گیری، مشخصات بارگذاری، طراحی مجموعه آزمایش، ادوات اندازه‌گیری و میزان دقت اندازه‌گیری‌ها مورد مذاقه قرار گیرد و همچنین روش‌شناسی در ارزیابی نتایج حاصله و روش تنظیم گزارش آزمایش‌ها را نیز دربر می‌گیرد. به این ترتیب باید طراحی آزمایش‌ها آنچنان روشن و دقیق صورت گرفته و تبیین گردد که در شرایط یکسان امکان بازتولید نتایج و مشاهدات وجود داشته و تفاوت‌های نتایج در شرایط تقریباً یکسان محدود به حیطه تغییرات قابل تبیین پارامترها، کمیت‌ها و رواداری‌ها باشد.

۷-۴-۲- اهداف آزمایش، حیطة ودامنه کار

در این طرح لازم‌است اهداف آزمایش به روشنی تشریح گردد. محدودیت‌های آزمایش و ضرایب اصلاحی و تبدیل لازم (برای مثال در حالت نمونه‌های به مقیاس کوچک‌شده)، باید به وضوح توصیف گردند. حدود بارهای اعمالی حداکثر، میزان تغییرشکل‌های حداکثر قابل پیش‌بینی یا مورد نیاز و محدودیت‌های کنترل‌کننده آزمایش تشریح گردند. نحوه اعمال کنترل‌های لازم برای حالات قطع اتوماتیک آزمایش در حالات اضطراری نقض شرایط ایمنی در حین آزمایش مشخص شوند.

۷-۴-۳- تخمین نتایج آزمایش یا نتایج مورد انتظار آزمایش

لازم‌است تمامی ویژگی‌ها، شرایط و عوامل مؤثر در نتایج آزمایش به دقت مورد توجه قرار گیرند. برخی از موارد حایز اهمیت عبارت‌اند از:

- شرایط سرحدی طبیعی و الزامی،
 - پارامترهای هندسی و حیطة تغییرات این پارامترها،
 - نابه‌جایی‌های هندسی،
 - خواص مصالح،
 - پارامترهای متأثر از شیوة ساخت و نصب،
 - آثار ناشی از شرایط محیطی و مراحل و ترتیب اعمال عوامل مربوط،
 - گونه مورد انتظار خرابی مسلط.
- در حالاتی که در مورد گونه غالب خرابی مسلط تردید وجود داشته باشد، برنامه‌ریزی آزمایش‌ها باید شامل آزمایش‌های مکمل نیز باشد.

۷-۴-۴- مشخصات نمونه‌های آزمایش و نحوه نمونه‌گیری

مشخصات نمونه آزمایش باید به روشنی تعریف گردد یا در انواع آزمایش‌هایی که در آنها نیاز به نمونه‌گیری از مجموعه تولیدات مشابه باشد، باید شیوة نمونه‌گیری از مجموعه‌های تکرارشونده، به نحوی تشریح گردد که نمایشگر شرایط سازه واقعی باشد. نکاتی که باید مد نظر قرار گیرند، عبارت‌اند از:

- ابعاد و رواداری‌ها،
 - کیفیت مصالح و ساخت،
 - تعداد نمونه‌های آزمایش،
 - روش نمونه‌گیری،
 - قیود و محدودیت‌ها،
- هدف از فرایند نمونه‌گیری به‌دست آوردن نمونه‌هایی است که از نظر آماری نمایندگان مناسبی از مجموعه باشند. لازم‌است توجه خاصی به تفاوت‌های بین نمونه‌های آزمایش و جامعه آماری تولیدات معطوف گردد؛ زیرا این تفاوت‌ها می‌تواند نتایج آزمایش‌ها را

تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین شناسایی آثار ناشی از چنین تفاوت‌هایی در تجزیه و تحلیل و اصلاح نتایج و شیوه استنتاج دارای اهمیت می باشد.

۷-۴-۵- مشخصات بارگذاری

شرایط بارگذاری و همچنین محیطی که باید برای آزمایش مشخص گردد، شامل موارد زیر می باشد:

- مشخص نمودن نقاط و مواضع بارگذاری،

- تبیین تاریخچه بارگذاری،

- تعریف شرایط تکیه‌گاهی و قيود حرکتی (جابه‌جایی و دَوَران)،

- تعیین دما یا تغییرات دما در حین آزمایش،

- مشخص نمودن رطوبت نسبی و تغییرات آن در حین آزمایش،

- تشریح عوامل شیمیایی محیطی مؤثر،

- اتخاذ تصمیم در مورد نحوه اعمال بار از طریق کنترل نیرو یا تغییر مکان.

ترتیب بارگذاری باید در حد امکان معرف حالات متعارف، استثنایی یا بحرانی باشد که می‌تواند در اجزای زیرمجموعه‌ها یا سازه واقعی بروز نماید. اندرکنش پاسخ سازه و ابزارهای مجموعه آزمایش و اعمال بار را باید در موارد مؤثر منظور نمود.

۷-۴-۶- طراحی مجموعه آزمایش و نصب تجهیزات و ابزار بندی

تجهیزات آزمایش باید از نظر میزان دقت و حیطه اندازه‌گیری ظرفیت با نوع آزمایش هماهنگ باشند. همچنین باید توجه خاص به مسایلی از قبیل تمهیداتی برای ایجاد صلبیت، سختی و مقاومت مکفی قاب‌های عکس‌العمل، تأمین ظرفیت کافی تجهیزات اعمال نیرو، تعیین مسیر اعمال بارها، ایجاد فضاهای آزاد به میزان کافی برای تغییرمکان‌های نمونه آزمایش و بالاخره اندازه‌گیری تغییرمکان‌های تکیه‌گاهی مبذول گردد.

۷-۴-۷- روش اندازه‌گیری کمیت‌ها

پیش از آزمایش لازم است فهرستی از تمامی کمیت‌های متغیری که باید تغییرات آنان در حین آزمایش اندازه‌گیری شوند، برای هر نمونه آزمایش تهیه گردد. در این زمینه باید نوع و میزان دقت و دامنه اندازه‌گیری‌های ابزارهای اندازه‌گیری، موقعیت و جهات اندازه‌گیری‌ها، روش ثبت نتایج و در صورت لزوم، تاریخچه زمانی بارها، تغییر مکان‌ها، کرنش‌ها، سرعت‌ها، شتاب‌ها، بسامدها و غیره تعیین گردند.

۷-۵- ارزیابی، پردازش و پالایش داده‌ها، تجزیه و تحلیل نتایج، استنتاج، جمع‌بندی و ارائه گزارش آزمایش

نحوه ارزیابی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و ارائه گزارش‌های آزمایش‌ها به شرح زیر است.

۷-۵-۱- استخراج مقادیر کمیت‌ها برای طراحی

استخراج مقادیر کمیت‌های مورد نظر برای خواص مصالح و پارامترهای مدل یا ارزیابی مقاومت به یکی از روش‌های زیر صورت می‌گیرد:

- (الف) با ارزیابی مقدار مشخصه، که با یک ضریب پاره‌ای اصلاح و در صورت نیاز، ضرایب تبدیل مربوط به مشخصه‌های ابزار اندازه‌گیری، تجهیزات اندازه‌گیری یا مقیاس کار، بر آن اعمال می‌گردد.
- (ب) از طریق تعیین مستقیم مقدار طراحی با در نظر گرفتن ضرایب اصلاحی و تبدیل لازم و سطح اطمینان کلی مورد نظر.

۷-۵-۲- استخراج مقدار مشخصه از آزمایش‌ها

تعیین مقادیر مشخصه کمیت‌ها باید با در نظر گرفتن موارد زیر صورت گیرد:

- (الف) پراکندگی داده‌های حاصل از آزمایش،
- (ب) عدم قطعیت مرتبط با تعداد آزمایش‌ها،
- (پ) اطلاعات آماری پیشین.

۷-۵-۳- ضرایب پاره‌ای

ضرایبی را که باید به مقدار مشخصه کمیت یا پارامتری اعمال شود، می‌توان برابر با ضرایب پاره‌ای مشخص شده در این آیین‌نامه اختیار نمود، مشروط بر آنکه کمیت حاصل از آزمایش و حوزه کاربرد ضریب پاره‌ای مورد استفاده در طراحی، از تطابق ماهیتی برخوردار باشند.

۷-۵-۴- آثار عواملی که از طریق آزمایش پوشش داده نشده‌اند

در صورتی که پاسخ سازه یا عضو سازه‌ای یا مقاومت مصالح وابسته به آثاری باشد که به میزان مکفی از طریق آزمایش پوشش داده نشده باشند، باید از طریق مدل محاسباتی چنین آثاری را مورد مطالعه قرار داد. به عنوان مثال، در صورتی که شرایط آزمایش دربرگیرنده آثار زمان و طول مدت آزمایش، آثار مربوط به مقیاس شدن نمونه‌ها، اثر مقادیر مطلق اندازه‌ها، شرایط متفاوت محیطی و نمایشگر واقع‌گرایانه شرایط بارگذاری و سرحدی نباشند، مطالعات نظری و یا عددی کافی برای در نظر گرفتن این آثار به نحو واقع‌گرایانه ضروری خواهد بود.

۷-۵-۵- تعیین مقادیر طراحی از روش مستقیم

در حالاتی که روش ۷-۵-۱ ب مورد استفاده قرار گیرد، برای تعیین مقادیر طراحی، موارد زیر را باید منظور داشت:

- حالت حدی مربوط در تراز عملکردی مورد نظر،
- سطح اطمینان مورد نیاز در سطح خطر مورد نظر،
- همسازی با مفروضات مربوط به عوامل،
- عمر مفید مورد نظر،
- اطلاعات گردآوری شده از مطالعات و آزمایش‌های پیشین یا در زمینه رفتار سازه‌ها یا نمونه‌های با رفتار مشابه.

۷-۵-۶- مقایسه نتایج آزمایش با مقادیر پیش‌بینی شده از طریق مطالعات نظری

در روند ارزیابی نتایج آزمایش، باید رفتار نمونه آزمایش و گونه‌های خرابی مشاهده شده با پیش‌بینی‌های حاصل از مطالعات نظری مقایسه شود. هرگاه عدم تطابق نتایج به میزان قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با مقادیر تخمین زده شده ملاحظه گردد، دلایل آن باید روشن شود. نتیجه بررسی‌ها می‌تواند منجر به انجام آزمایش‌های بیشتر، در حالات بارگذاری و شرایط تکیه‌گاهی متنوع تر شود یا به اصلاح مدل‌های نظری منتهی گردد.

۷-۵-۷- ارزیابی نتایج آزمایش براساس روش‌های آماری

ارزیابی نتایج آزمایش باید بر روش‌های آماری متکی باشد و با استفاده از اطلاعات آماری موجود در مورد نوع تابع توزیع مناسب و پارامترهای مرتبط آن به عمل آید.

روشی که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد، تنها در حالت ارضای شرایط زیر قابل استفاده خواهد بود:

(الف) داده‌های آماری (شامل داده‌های موجود از آزمایش‌های پیشین) از جوامع آماری شناسایی شده که به میزان مکفی همگن باشند، استخراج گردیده باشد،

(ب) داده‌ها به مقدار مکفی برداشت شده باشند،

(پ) حیطة صحت و سقم نتایج آزمایش مورد توجه قرار داده شود.

دامنه اعتبار و صحت و سقم نتایج ارزیابی آزمایش تنها برای مشخصات و ویژگی‌های بار اعمالی در آزمایش در نظر گرفته می‌شود. در حالاتی که لازم است برای پوشش دادن به مقادیر پارامترهای طراحی و بارگذاری، برون‌یابی از نتایج آزمایش به عمل آید، در اغلب موارد لازم خواهد بود از اطلاعات و داده‌های مکمل آزمایش‌های قبلی یا اطلاعات حاصل از مطالعات نظری در استنتاج نهایی بهره‌گیری شود.

۶-۷- تعیین مقادیر کمیت‌های طراحی به روش آماری

۶-۷-۱- موارد عمومی

در این بند، نحوه عملی استخراج مقادیر طراحی از نتایج آزمایش‌های نوع ۱-۵-۷- (الف) و ۱-۵-۷- (ب)، برای یک ویژگی یا کمیت یا پارامتر مانند مقاومت (منفرداً) مورد بحث قرار داده شده‌است. روابطی که در این بخش به آن رجوع شده، براساس روش‌های پیشین با توزیع‌های از پیش تعیین‌شده غیرصریح تقریباً به همان نتایجی منتهی می‌گردد که از روش‌های کلاسیک آماری با سطح اطمینان ۷۵٪، به دست می‌آید.

۶-۷-۲

برای نمایش مقاومت یک عضو، قطعه یا فراورده تولیدی یا مشخصه مؤثر بر مقاومت آن، ویژگی، کمیت یا پارامتر منفردی را به کار می‌بریم.

۶-۷-۳

در حالت مذکور در بند ۱-۵-۷- (الف)، روش‌های آماری معمول به‌طور مستقیم برای تعیین مقادیر مشخصه، طراحی یا ضرایب پاره‌ای قابل کاربرد خواهند بود.

۶-۷-۴

در حالت مذکور در بند ۱-۵-۷- (ب)، لازم‌است به این امر توجه شود که مقادیر طراحی مقاومت باید شامل آثار عوامل زیر باشند:

- آثار خواص مصالح و سایر پارامترهای مؤثر،
- آثار عدم قطعیت در مدل، مجموعه و روش آزمایش و شیوه‌های اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها،
- سایر آثار (مقیاس، اندازه، و غیره).

۶-۷-۵

روابط آماری مورد اشاره مبتنی بر مفروضات زیر می‌باشند:

- تمامی متغیرها از توزیع نرمال یا لوگ - نرمال تبعیت می‌نمایند.
- از پیش اطلاعی در ارتباط با مقادیر متوسط در دست نیست.

۶-۷-۷- تعیین آماری مدل‌های مقاومت

۶-۷-۱- موارد عمومی

بند ۶-۷- به‌طور عمده به روش‌های کالیبره‌نمودن مدل‌های مقاومت برای استنتاج مقادیر طراحی از آزمایش‌های گروه ۴-۲-۷- اختصاص یافته‌است. داده‌ها، دانسته‌ها و مفروضات مرتبط با مطالعات پیشین را باید تا حد ممکن یافته و از آنها بهره‌گیری نمود.

۲-۷-۷

براساس مشاهدات رفتار واقعی طی آزمایش‌ها و همچنین بر مبنای مطالعات نظری، لازم است یک "مدل طراحی" ایجاد گردد که منتج به دستیابی به یک تابع مقاومت شود. صحت این مدل را باید از طریق تفسیر آماری تمامی داده‌های موجود حاصل از آزمایش‌ها مورد بررسی قرار داد. در صورت لزوم، مدل طراحی تا برقراری هماهنگی بین نتایج آزمایش و مقادیر نظری اصلاح خواهد شد.

۳-۷-۷

انحرافات حاصل از به‌کارگیری مدل طراحی باید از طریق مقایسه با نتایج آزمایش‌ها مشخص گردند. این انحرافات را باید در ترکیب با سایر انحرافات مربوط به دیگر متغیرهای تابع مقاومت در نظر گرفت تا میزان انحراف کلی قابل تخمین باشد. متغیرهای دیگر تابع مقاومت شامل موارد زیر می‌گردند:

- انحراف در ارتباط با مقاومت مصالح و سختی،
- انحراف در ارتباط با خواص هندسی.

۴-۷-۷

مقاومت مشخصه باید با در نظر گرفتن انحرافات تمامی متغیرها تعیین گردد.

۷-۸- راهنمای آزمایش‌های بارگذاری (سازه یا زیرمجموعه‌ها)

۱-۸-۷- کلیات

۱-۱-۸-۷

آزمایش بارگذاری به‌طور معمول در حالات زیر انجام می‌شود:

- (الف) مدل‌های ریاضی برای نمایش یا تخمین واقع‌گرایانه رفتار سازه فضاکار یا زیرمجموعه‌های آن ناکافی بوده یا به نتایجی منتج گردند که از نظر اقتصادی قابل توجیه نباشد.
- (ب) هرگاه لازم باشد، مقاومت طراحی سازه یا زیرمجموعه‌هایش را از طریق مقاومت نهایی واقع‌گرایانه سازه تعیین نمود.
- (پ) در مورد تولیداتی که قبلاً از طریق آزمایش ارزیابی و پذیرفته شده باشند؛ هرگاه لازم باشد میزان یکنواختی یا پراکندگی خواص تولیدات مزبور، شامل زیرمجموعه‌ها و واحدهای تکرارشونده سازه فضاکار بررسی گردد.
- (ت) در مواردی که میزان مقاومت یا سختی سازه یا زیرمجموعه‌ها و اجزای سازه مورد تردید باشد و مشاهده رفتار و عملکرد واقعی سازه توصیه گردد.

۲-۱-۸-۷

برای ارضای این حالات چهار نوع آزمایش به شرح زیر قابل توصیه است:

(الف) آزمایش پذیرش، برای تأیید رفتار کلی سازه،

(ب) آزمایش مقاومت، تحت اعمال بارهای نهایی مورد نظر با توجه به سطح خطر و تراز عملکردی،

(پ) آزمایش تا خرابی، جهت تعیین مقاومت نهایی و گونه گسیختگی مسلط،

(ت) آزمایش کنترل کیفی برای بررسی:

- ارضا یا عدم ارضای معیارهای مرتبط با خواص و پارامترها و کمیتهای از پیش تعیین شده،

- میزان یکنواختی یا پراکندگی نتایج تولیدات اجزا، پیوندها، اعضا و واحدهای تکرارشونده سازه فضاکار در تولید انبوه.

۳-۱-۸-۷

روش‌های آزمایش مورد بحث در این بخش تنها برای سازه‌های فضاکار فولادی در نظر گرفته شده‌اند. در مورد آزمایش‌های استاندارد اعضا و پوشانه‌های سردنورد شده باید به استانداردهای معتبر در این زمینه مراجعه شود.

این فصل روش‌های آزمایش سازه‌های فضاکار مختلط با پوشانه‌های بتنی مختلط با شبکه فضاکار و روش‌های آزمایش برای بررسی پدیده‌های خستگی پرتواتر و خستگی کم‌تواتر را پوشش نمی‌دهد. در مورد آزمایش‌های بارگذاری روی مدل‌های به مقیاس کوچک شده باید جزییات نحوه مقیاس نمودن و استنتاج تعیین گردد. در آزمایش‌های تحت بارهای چرخه‌ای باید تاریخچه بارگذاری به‌روشنی مشخص شود.

۲-۸-۷- اهداف و شرایط آزمایش

۱-۲-۸-۷

طراحی قاب عکس‌العمل (واکنش) آزمایش باید به‌گونه‌ای باشد که سیستم بارگذاری به میزان کافی و به نحو واقع‌گرایانه‌ای بزرگی و توزیع بارها را به صورت مورد نظر ایجاد نماید و شرایطی برای نمونه فراهم گردد که نمایشگر قابل‌پذیرشی از شرایط واقعی مورد نظر نمونه در سازه واقعی، تحت تأثیر سطح بار مورد نظر باشد.

۲-۲-۸-۷

نمونه باید بتواند آزادانه تحت تأثیر بار، تغییر مکان و تغییر شکل دهد. قیود جانبی و پیچشی باید نمایشگر وضعیت واقعی در بهره‌برداری واقعی باشند.

۳-۲-۸-۷

باید دقت شود تا از بروز برون محوری‌های ناخواسته در نقاط اعمال بار و تکیه‌گاه‌ها ممانعت به عمل آید.

۴-۲-۸-۷

اندازه‌گیری‌های بار و تغییرمکان باید حتی‌المقدور در فواصل زمانی کوتاه و در گام‌های نسبتاً کوچک تغییر شکل به عمل آید.

۵-۲-۸-۷

اندازه‌گیری تغییرمکان‌ها باید به تعداد کافی در نقاط و مواضعی به عمل آید که از نظر میزان تغییرمکان و نمایش فرم تغییرشکل یافته یا هندسه کمانش، حایز اهمیت تشخیص داده می‌شوند. مقادیر محتمل تغییرمکان‌ها را باید از پیش تخمین زد و به میزان کافی فضای لازم را برای تغییر مکان آزادانه نمونه فراهم کرد و همچنین از ابزار اندازه‌گیری با دقت کافی و قابل کاربرد در هماهنگی با میزان تغییرمکان حداکثر قابل تخمین استفاده نمود.

۶-۲-۸-۷

در برخی از حالات که اندازه‌گیری تنش‌های نمونه مورد نظر باشد، این امر به طور کیفی با بهره‌گیری از پوشش شکننده و به طور کمی با نصب کرنش‌سنج در مواضع مورد نظر انجام خواهد شد. اطلاعات مزبور باید همراه و هماهنگ با اطلاعات مربوط به رفتار کلی و روابط بار-تغییرمکان نمونه مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند.

۳-۸-۷- روش‌های عمومی آزمایش بارگذاری

۱-۳-۸-۷

هرگاه وزن خود نمونه حاوی بار دائمی وارده در شرایط بهره‌برداری باشد، لازم‌است این شرایط بارگذاری از طریق اعمال بار خارجی ثابت تأمین شود یا اثر عدم حضور این بارها در مرحله ارزیابی نتایج آزمایش، در محاسبات در نظر گرفته شود.

۲-۳-۸-۷

پیش از انجام آزمایش تا مراحل بروز رفتار الاستوپلاستیک، به‌طور معمول یک بارگذاری اولیه در حد رفتار خطی روی نمونه آزمایش انجام می‌گیرد تا صحت عملکرد ابزار و تجهیزات، کیفیت عملکرد تکیه‌گاه‌ها و شرایط سرحدی مورد بررسی قرار گیرد و در صورت نیاز، اصلاحات لازم اعمال گردد.

۳-۳-۸-۷

بارگذاری باید به صورت گام به‌گام با طرح از پیش تعیین شده و متناسب با نیت مورد نظر در آزمایش اعمال گردد. پس از هر مرحله بارگذاری، باید نمونه را از نظر ردیابی علایم بروز و گسترش پلاستیسیته، کمانش و شکست مورد بازرسی دقیق قرار داد. با شروع رفتار غیرخطی و افزایش تغییرمکان برای گام‌های بارگذاری، باید مقادیر گام‌های بارگذاری را کاهش داد. استفاده از منحنی‌های بار-تغییر مکان در مواضع و جهات اصلی که نمایشگر رفتار کلی سیستم باشند، به شناسایی این مراحل کمک می‌نمایند.

۴-۳-۸-۷

برای تعیین بار حداکثر از دیدگاه آزمون پذیرش، یا آزمایش مقاومت، این بار را باید به میزان ثابت برای حداقل ۱ ساعت بر نمونه اعمال نمود و قرائت بار و تغییرمکان حداقل هر ۱۵ دقیقه صورت گیرد. این امر تا زمانی ادامه می‌یابد که افزایش قابل ملاحظه‌ای در تغییرمکان تحت بار ثابت طی دو برداشت در بازه زمانی ۱۵ دقیقه یا حداقل ۱ ساعت، مشاهده نگردد.

۵-۳-۸-۷

بار برداری باید در گام‌های کاهشی منظمی صورت گیرد و در هر مرحله قرائت میزان تغییرمکان‌ها به عمل آید تا بار کاملاً برداشته شود.

۶-۳-۸-۷

هرگاه نتایج آزمایش برای تأیید رفتار سازه‌های شاهد یا زیرمجموعه‌ها، واحدها و اعضا و اجزای سازه مورد نظر باشد، خواص فولاد مورد استفاده در نمونه‌های آزمایش را باید از طریق آزمایش‌های کششی مصالح شناسایی نمود تا بتوان بین نتایج آزمایش‌های نمونه‌های آزمایش شده گوناگون در زمان‌های متفاوت، مقایسه به عمل آورد.

نمونه‌های آزمایش کششی را می‌توان از باقیمانده همان مصالح تهیه نمود که نمونه آزمایش از آن ساخته شده‌است. همچنین تهیه این نمونه‌ها از بخش جاری نشده، کم‌انرژی نکرده و فاقد ترک نمونه آزمایش، پس از انجام آزمایش نیز مجاز می‌باشد.

۴-۸-۷- فرایندهای ویژه

۱-۴-۸-۷

آزمایش‌های پذیرش به صورت آزمایش بارگذاری غیرمخرب برای تأیید عملکرد سازه یا اعضا و اجزا و اتصالات سازه به کار برده می‌شوند. نمونه‌های آزمایش باید قابلیت تحمل بار مورد اشاره در بند ۴-۳-۸-۷ را به اثبات رسانند.

۲-۴-۸-۷

با توجه به وجود احتمال ایجاد تغییرشکل‌ها و اعوجاج‌ها موضعی دائمی تحت تأثیر بار فوق، این آثار لزوماً نشانگر خرابی سازه‌ای در آزمایش پذیرش تلقی نمی‌گردند؛ ولی در ارتباط با پاسخ منفرد آنها و اثر آن در پاسخ کلی باید مطالعات لازم به عمل آید.

۳-۴-۸-۷

ضرایب بار برای آزمایش‌های پذیرش به شرح زیر می‌باشند:

(۱/۰۰) برای وزن نمونه حاضر در حین آزمایش،

(۱/۱۵) برای باقیمانده بار دائمی،

(۱/۲۵) برای بارهای متغیر.

۴-۴-۸-۷

نمونه آزمایش باید معیارهای زیر را ارضا نماید:
 (الف) تحت اثر بار پذیرش، پاسخ نمونه عمدتاً در حیطه رژیم خطی قرار داشته باشد.
 (ب) پس از باربرداری، تغییر مکان پس ماند از ۲۰٪ حداکثر تغییرمکان ثبت شده در حین بارگذاری تجاوز ننماید.

۵-۴-۸-۷

در صورت عدم ارضای شرایط مندرج در بندهای ۴-۴-۸-۷ (الف و ب)، تنها یک بار می توان آزمایش را تکرار نمود. در این حالت، شرط (الف) فوق باید برقرار بوده و تغییرمکان پس ماند نباید از ۱۰٪ حداکثر تغییرمکان ثبت شده حین بارگذاری تجاوز نماید.

۷-۸-۵ - آزمایش مقاومت

۱-۵-۸-۷

آزمایش های مقاومت برای تأیید مقاومت محاسباتی سازه، زیرمجموعه های سازه، اعضا؛ پیوندها و اتصالات، ادوات اتصال و سایر اجزا و تکیه گاه ها به کار گرفته می شوند.

۲-۵-۸-۷

هرگاه تعدادی از اقلام و قطعات، اعضا، یا واحدهای تکرارشونده براساس طرح واحدی تولید می گردند و یک یا دو نمونه اولیه جهت تأیید مقاومت آنها مورد آزمایش قرار داده می شود، بقیه آزمایش های پذیرش صرفاً به منظور کنترل یکنواختی فرایند تولید به عمل می آید.

۳-۵-۸-۷

پیش از آزمایش های مقاومت، نمونه ها باید آزمایش پذیرش را ارضا نموده باشند.

۴-۵-۸-۷

مقادیر مورد انتظار بارگذاری برای آزمایش مقاومت باید بر اساس بار طراحی محاسباتی در حالت حدی نهایی برای ترکیب بارهای ذیربط دایمی و متغیر تخمین زده شود.

۵-۵-۸-۷

مقاومت نمونه آزمایش تابع خواص مصالح خواهد بود، بنابراین ضرورت دارد مشخصات مصالح فولادی از طریق تهیه و آزمایش نمونه های آزمایش کششی، مشخص گردند.

۶-۵-۸-۷

مقادیر متوسط مقاومت جاری شدن حاصل از آزمایش نمونه های کششی باید برای نمونه آزمایش اصلی تعیین گردد.

۷-۵-۸-۷

بار آزمایش (شامل وزن نمونه) عبارت‌است از :

$$F_{t,s} = (F_{d,ult}) (f_{ym}/f_y) (\gamma_t) \quad (۱-۷)$$

که در آن :

$F_{t,s}$ بار آزمایش،

$F_{d,ult}$ بار طراحی برای حالت حدی نهایی مورد نظر،

f_{ym} مقاومت جاری شدن متوسط حاصل از آزمایش نمونه‌های کوپن کششی،

γ_t ضریب بار در آزمایش،

f_y مقاومت جاری شدن مشخصه طراحی، است.

در ارتباط با ضریب بار باید متناسب با نوع عامل و ترکیب عوامل مورد نظر، این ضریب مطابق ضرایب بار این آیین‌نامه اختیار شود.

۸-۵-۸-۷

تحت اثر بار $F_{t,s}$ هیچگونه خرابی ناشی از کمانش یا شکست در هیچ یک از مواضع نمونه نباید بروز نماید.

۹-۵-۸-۷

پس از باربرداری کامل، تغییرمکان برگشت پذیر نمونه نباید از ۲۰٪ تغییر مکان حداکثر اندازه‌گیری شده در آن راستا کمتر باشد.

۶-۸-۷-۶-۸-۷ آزمایش تا خرابی

۱-۶-۸-۷

هدف از آزمایش تا مرحله تخریب تعیین مقاومت طراحی از طریق شناخت مقاومت نهایی واقعی ثبت‌شده طی آزمایش است.

۲-۶-۸-۷

تنها از طریق آزمایش تا مرحله تخریب است که گونه خرابی واقعی و مقاومت یک نمونه را می‌توان تعیین نمود. از نظر کسب اطلاعات بیشتر، مفید است که این آزمایش پس از آزمایش مقاومت انجام گیرد.

۳-۶-۸-۷

پیش از آزمایش تا مرحله تخریب، نمونه آزمایش باید ابتدا شرایط مندرج در بند ۸-۷-۵ مربوط به آزمایش مقاومت را ارضا نماید. مقاومت نهایی تخمین زده شده از روش‌های نظری را باید براساس آگاهی‌های حاصل از ملاحظه رفتار نمونه، طی آزمایش مقاومت مورد تجدید نظر قرار داد.

۴-۶-۸-۷

طی آزمایش نمونه تا مرحله تخریب، لازم است بارگذاری به صورت گام به گام و به طریق افزایشده تا بار آزمایش مقاومت، به صورتی که در بند ۷-۸-۵ ذکر شد، افزایش یابد و پس از بررسی منحنی رفتاری بار - تغییر مکان تا مرحله آزمایش مقاومت، نسبت به مقادیر افزایش بار و نحوه ادامه بارگذاری بعدی اتخاذ تصمیم گردد، آزمایش باید با پایش مستمر رفتار نمونه و منحنی رفتاری آن توأم باشد.

۵-۶-۸-۷

مقاومت بار نهایی نمونه، $F_{t,R}$ ، عبارت است از باری که در آن نمونه آزمایش قادر به حمل افزایش بار بیشتری نباشد و در واقع بر آستانه‌ای دلالت دارد که فراتر از آن، با وجود اعمال بار، نمونه از تحمل بار بیشتر شانه خالی نموده و مقاومت کمتری را نشان می‌دهد که به طور معمول با افزایش تغییر مکان توأم خواهد بود، بسته به آنکه نمونه در زمره اعضا و اجزا یا واحدهای کنترل‌شونده توسط تغییر مکان یا نیرو باشد، منحنی رفتاری آن پس از نیل به بار نهایی به لحاظ ماهیت متفاوت خواهد بود.

۶-۶-۸-۷

تحت تأثیر بار نهایی، $F_{t,R}$ ، اعوجاج‌ها، تغییر مکان‌ها و تغییر شکل‌های پس ماند دائمی به احتمال زیاد به وجود خواهند آمد. گاه مقادیر بار نهایی را براساس حد تغییر مکان تعریف شده مشخص می‌نمایند که در این حالت در صورتی که مقادیر بار، تا نیل به حد تغییر مکان مزبور، به بار نهایی نمونه نرسیده باشد، با توجه به میزان قابل ملاحظه تغییر مکان ایجاد شده در حد تعریف شده، در عمل نمونه از حیزانتفاع ساقط گردیده و بار حدی آزمایش بر اساس بار متناظر با این حد تغییر مکان تعیین می‌گردد.

۷-۶-۸-۷

به طور معمول در مورد نمونه‌هایی که اسماً یکسان ساخته شده‌اند، برای نتیجه‌گیری حداقل ۳ آزمایش تا حد تخریب مورد نیاز خواهد بود.

۸-۶-۸-۷

درحالی که انحراف نتایج هر یک از آزمایش‌ها از مقدار متوسط تمامی آزمایش‌ها از ۱۰٪ تجاوز نماید، لازم است حداقل ۶ آزمایش به انجام رسد. در این حالت، برای تعیین مقاومت طراحی باید از روش‌های آماری بهره‌گیری نمود.

۹-۶-۸-۷

هرگاه انحراف از مقادیر متوسط، از ۱۰٪ تجاوز ننماید، مقاومت طراحی، F_{Rd} ، را می‌توان از روابط زیر به دست آورد:

۹-۶-۸-۷-۱- در حالت رفتار شکل‌پذیر (کنترل تغییر مکانی):

$$F_{Rd} = 0.9 (F_{(t,R)min}) (f_y / f_{ym}) / (\gamma_t) \quad (۲-۷)$$

که در آن :

$F_{(t,R)min}$ حداقل مقاومت نهایی قرائت شده در آزمایش‌های نمونه‌های مشابه و f_{ym} مقاومت جاری‌شدن متوسط نمونه‌های آزمایش نمونه کششی است.

۲-۹-۶-۸-۷ در حالت خرابی با شکست ترد:

$$F_{Rd} = 0.9 (F_{(t,R)min}) (f_y / f_{um}) / (\gamma_t) \quad (۳-۷)$$

در اینجا f_{um} عبارت‌است از تنش متناظر با مقاومت نهایی متوسط نمونه‌های آزمایش کوپن کششی.

۳-۹-۶-۸-۷ در حالت خرابی ناشی از کمانش ناگهانی (کنترل نیرویی):

$$F_{Rd} = 0.75 (F_{(t,R)min}) (f_y / f_{ym}) / (\gamma_t) \quad (۴-۷)$$

۴-۹-۶-۸-۷ در حالت بروز خرابی با گونه کمانشی الاستوپلاستیک با قابلیت جذب انرژی در رفتار فراکمانشی:

$$F_{Rd} = 0.85 (F_{(t,R)min}) (f_y / f_{ym}) / (\gamma_t) \quad (۵-۷)$$

۷-۸-۷-۷ آزمایش‌های کنترل کیفیت

۱-۷-۸-۷

هرگاه نمونه آزمایش براساس آزمایش‌های مقاومتی یا آزمایش تا حد تخریب طراحی شده باشد و از آن نمونه در عمل و حسب مورد، پیونده، عضو یا زیرمجموعه‌هایی به صورت انبوه تولید گردد، تعداد مناسبی نمونه (حداقل دونمونه) را باید از هر دسته نمونه ساخته شده، به طور تصادفی انتخاب و مورد آزمایش کنترل قرار داد.

۲-۷-۸-۷

باید دقت کافی مبذول گردد تا اطمینان حاصل شود که نمونه‌گیری از میان تولیداتی انتخاب می‌شود که از تمامی جنبه‌ها با نمونه آزمایش مشابه باشند و به ویژه از دیدگاه ابعاد، نوع اتصالات، نوع ادوات اتصال، رواداری‌ها، کیفیت ساخت و کیفیت فولاد مصرفی، به طور اسمی یکسان باشند.

۳-۷-۸-۷

هرگاه تعیین میزان تغییرات نتایج یا آثار تغییرات نتایج از نمونه‌های آزمایش قابل استنتاج نباشد، باید آزمایش پذیرش را به عنوان آزمایش کنترل به عمل آورد.

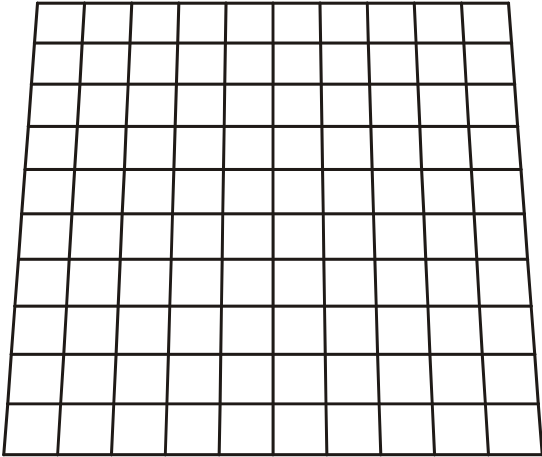
۴-۷-۸-۷

در آزمایش کنترل، مقادیر تغییرمکان‌ها باید در همان موضعی اندازه‌گیری شوند که در آزمایش پذیرش اندازه‌گیری شده‌اند و مقدار حداکثر تغییرمکان اندازه‌گیری شده در آزمایش کنترل نباید از ۱۲۰٪ مقادیر ثبت شده طی آزمایش پذیرش تجاوز نماید و مقادیر تغییرمکان پس‌ماند نباید از ۱۰۵٪ مقادیر تغییرمکان پس‌ماند ثبت شده در آزمایش پذیرش افزون‌تر باشد.

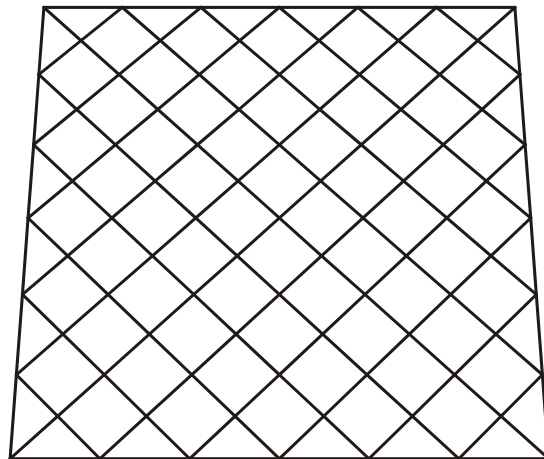
پیوست ۱-الف

نمونه‌هایی از سازه‌های فضاکار شبکه‌ای

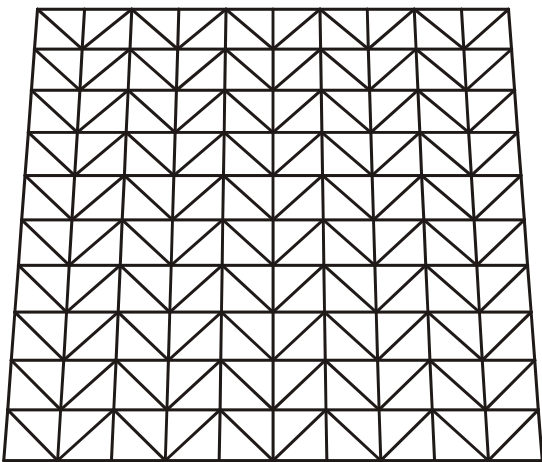
پیوست ۱ - الف - نمونه‌هایی از سازه‌های فضاکار شبکه‌ای



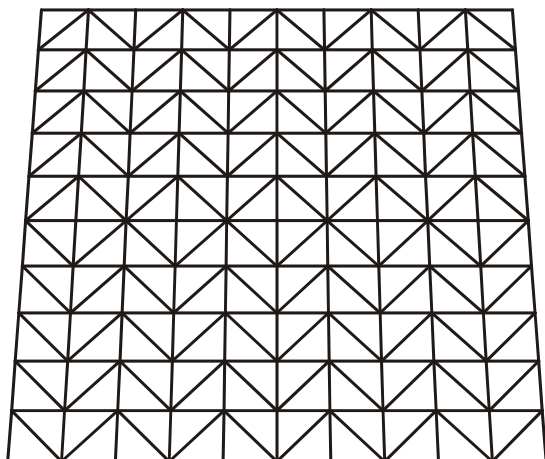
شکل ۱- شبکه تک لایه با نقش دوراهه



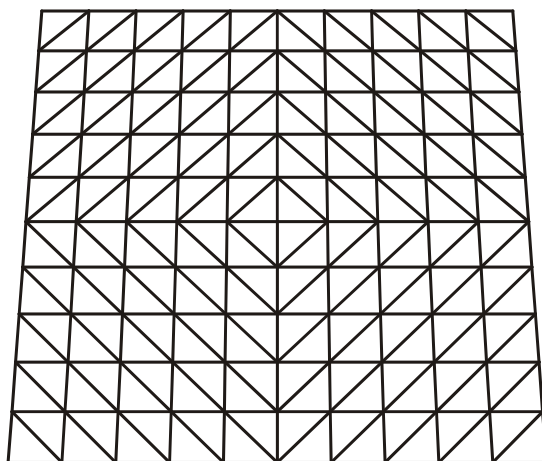
شکل ۲- شبکه تک لایه با نقش اریبی



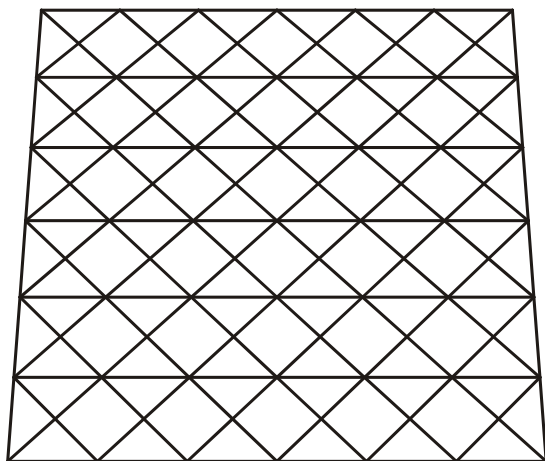
شکل ۳- شبکه تک لایه با نقش دوراهه و هموندهای قطری اضافی



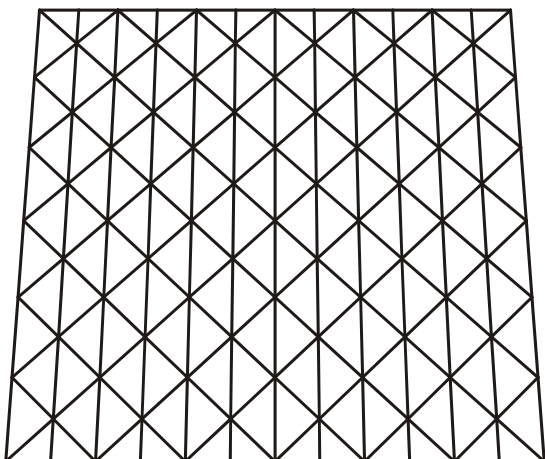
شکل ۴- شبکه تک لایه با نقش دوراهه و هموندهای قطری اضافی



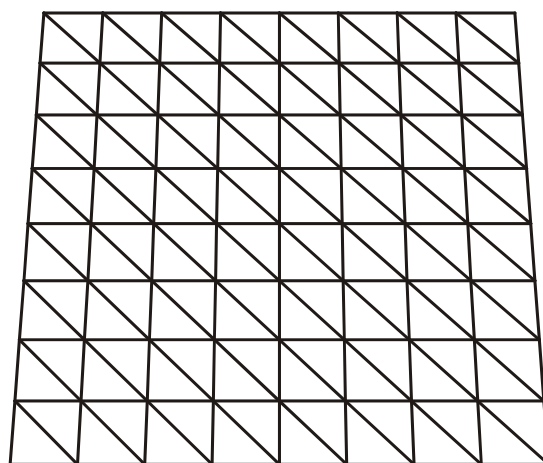
شکل ۵- شبکه تک لایه با نقش دوراهه و هموندهای قطری اضافی



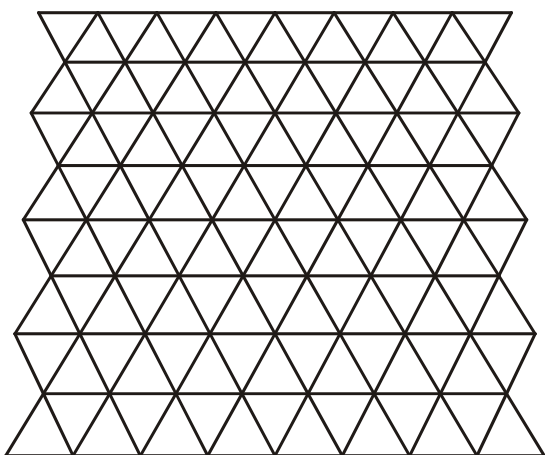
شکل ۶- شبکه تک لایه با نقش اریبی و هموندهای قطری اضافی



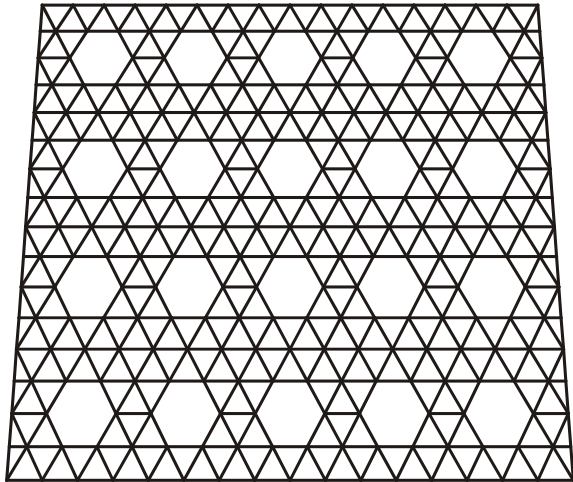
شکل ۷- شبکه تک لایه با نقش سه راهه



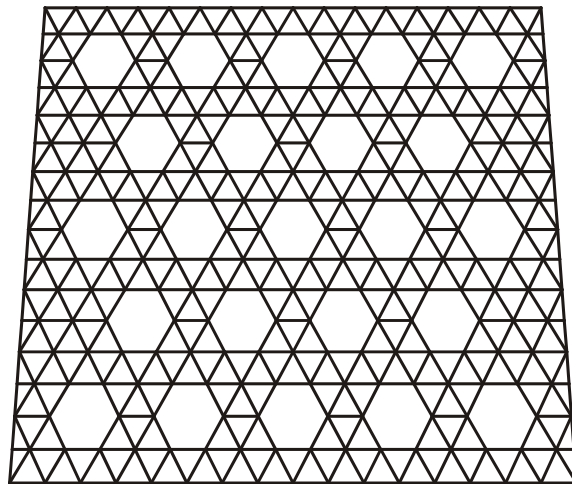
شکل ۸- شبکه تک لایه با نقش سه راهه



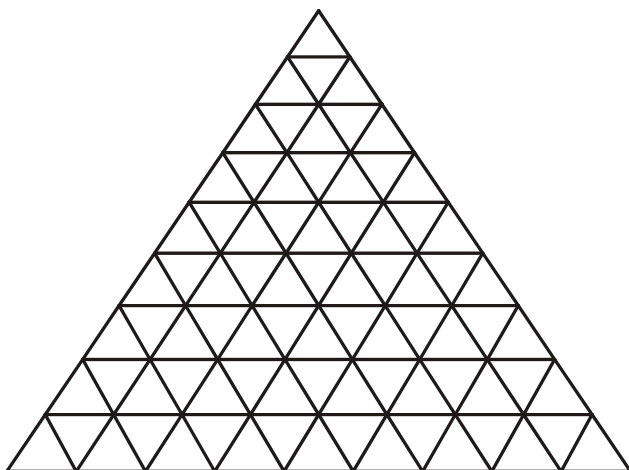
شکل ۹- شبکه تک لایه با نقش سه راهه



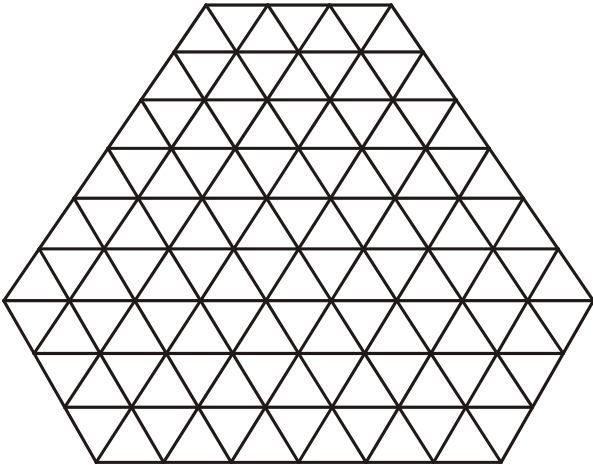
شکل ۱۰- شبکه تک لایه با نقش سه راهه/شش بری



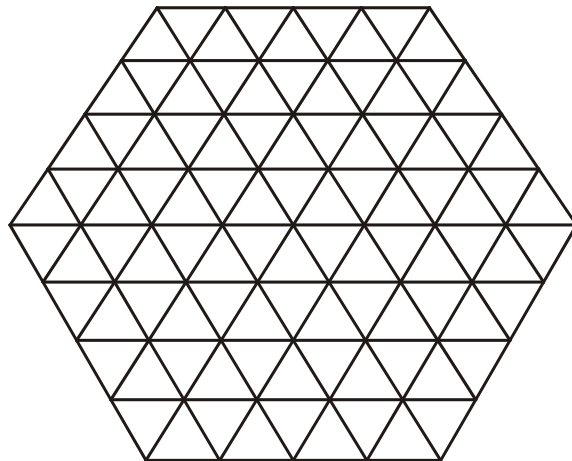
شکل ۱۱- شبکه تک لایه با نقش سه راهه/شش بری



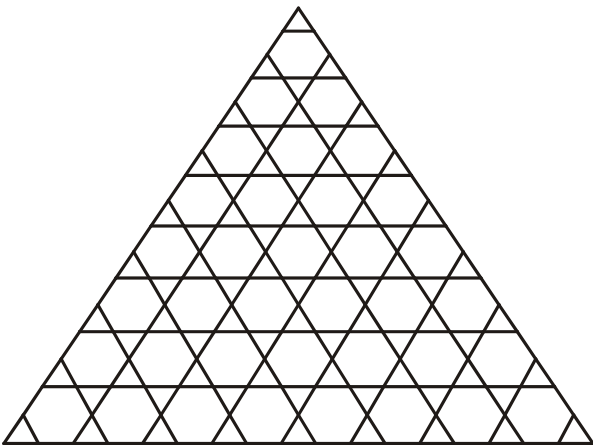
شکل ۱۲- شبکه مثلثی تک لایه با نقش سه راهه



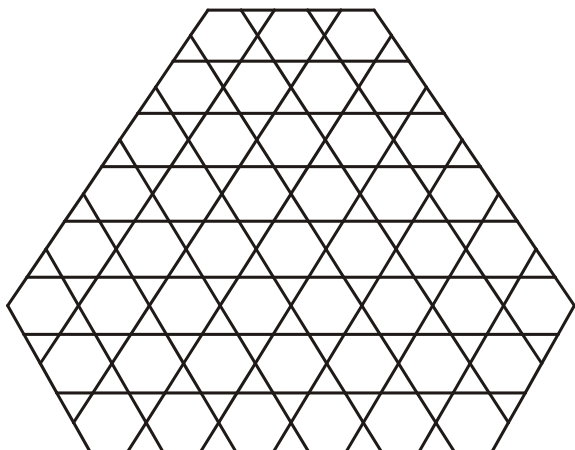
شکل ۱۳ - شبکه‌ی مثلثی تک لایه با نقش سه راهه و گوشه‌های بریده



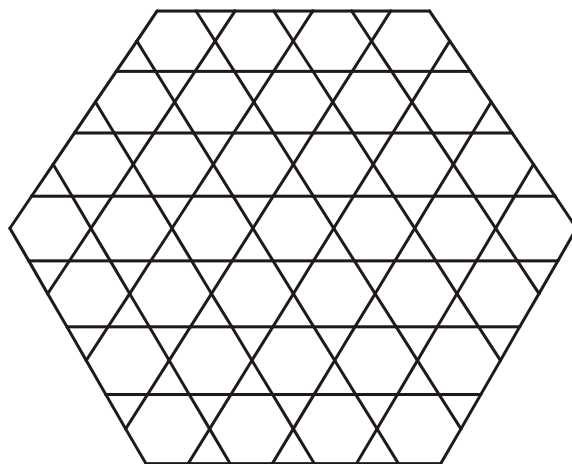
شکل ۱۴ - شبکه‌ی مثلثی تک لایه با نقش سه راهه و گوشه‌های بریده



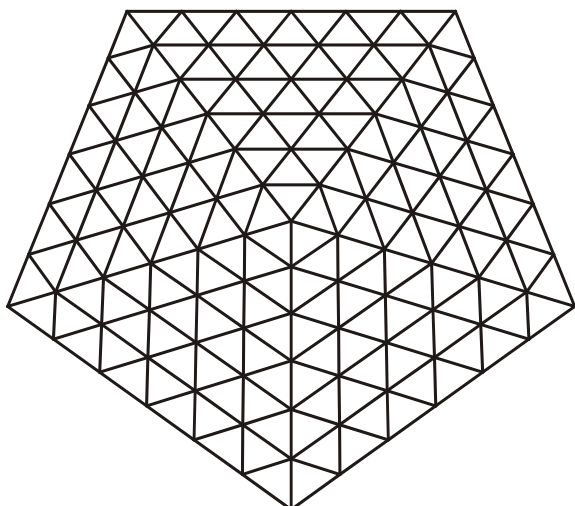
شکل ۱۵ - شبکه‌ی مثلثی تک لایه با نقش سه راهه / شش بری



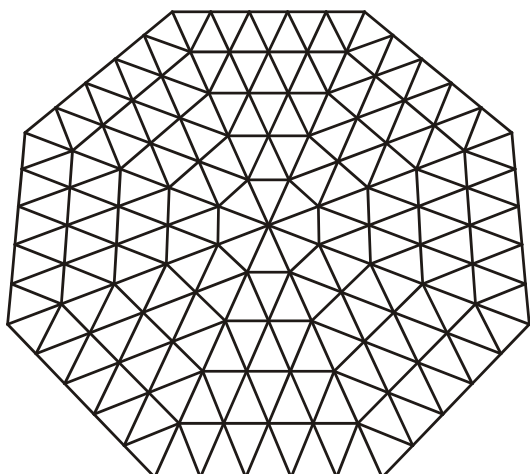
شکل ۱۶- شبکه‌ی مثلثی تک لایه با نقش سه راهه/شش بری و گوشه‌های بریده



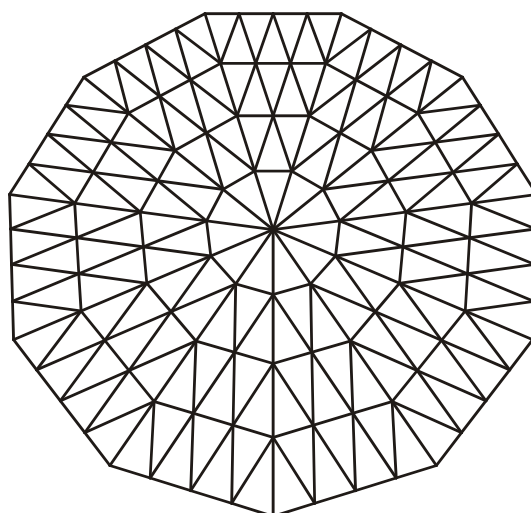
شکل ۱۷- شبکه‌ی مثلثی تک لایه با نقش سه راهه/شش بری و گوشه‌های بریده



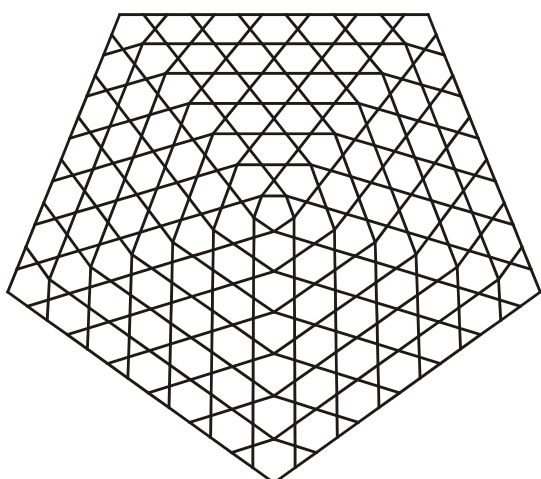
شکل ۱۸- شبکه‌ی قاجی تک لایه با نقش سه راهه



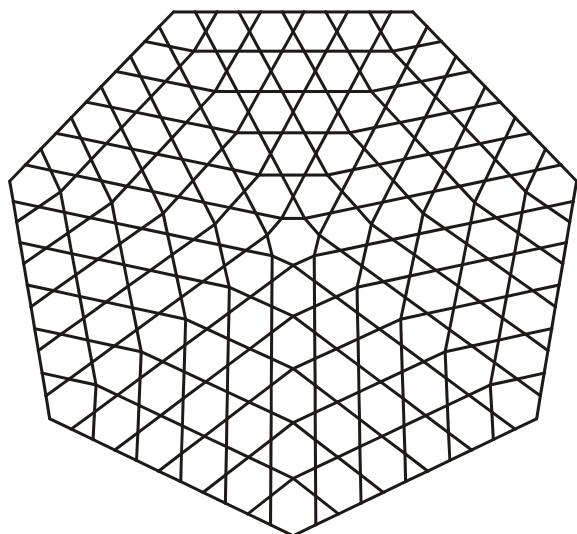
شکل ۱۹- شبکه قاجی تک لایه با نقش سه راهه



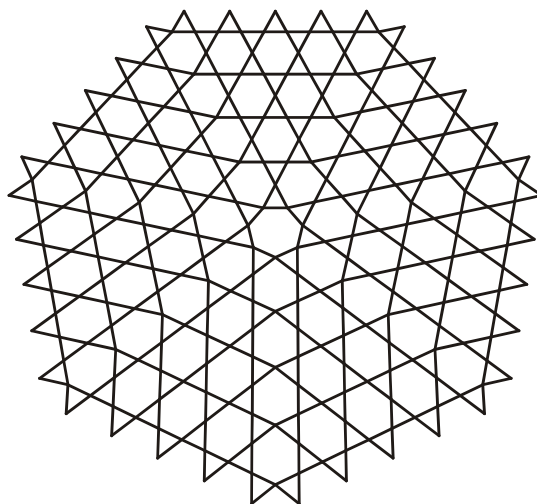
شکل ۲۰- شبکه قاجی تک لایه با نقش سه راهه



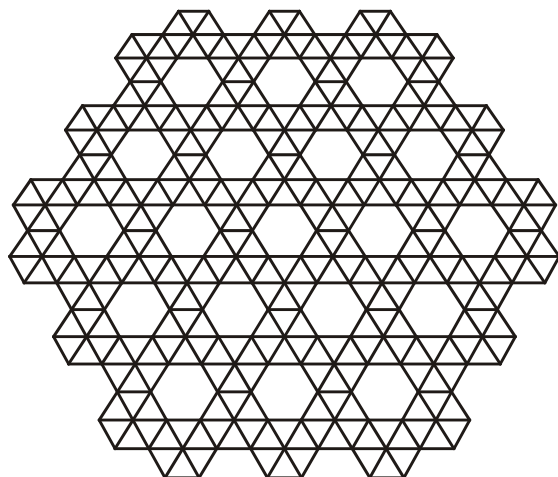
شکل ۲۱- شبکه قاجی تک لایه با نقش سه راهه / شش بری



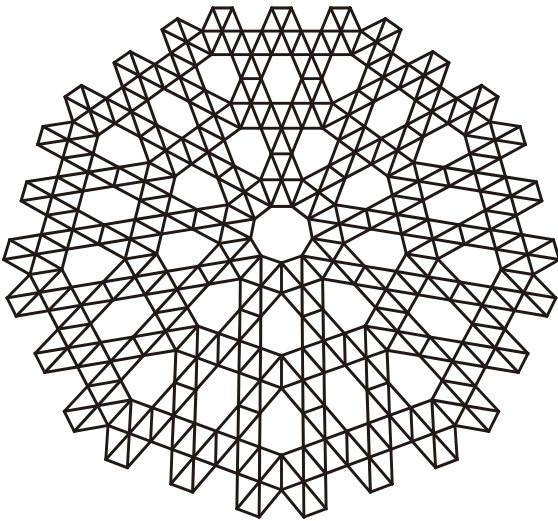
شکل ۲۲- شبکه قاجی تک لایه با نقش سه راهه / شش بری



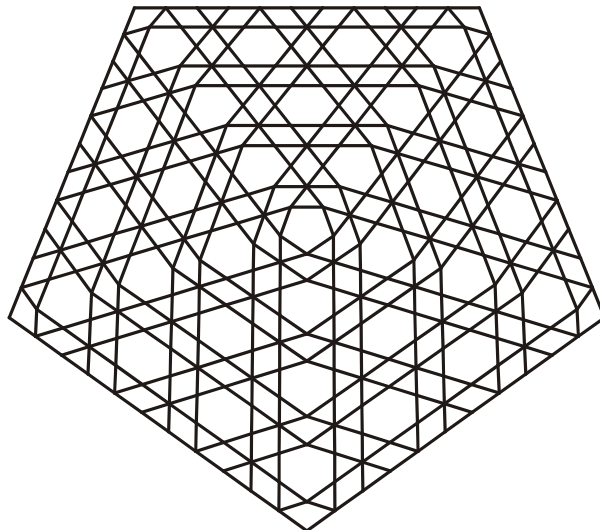
شکل ۲۳- شبکه قاجی تک لایه با نقش سه راهه / شش بری



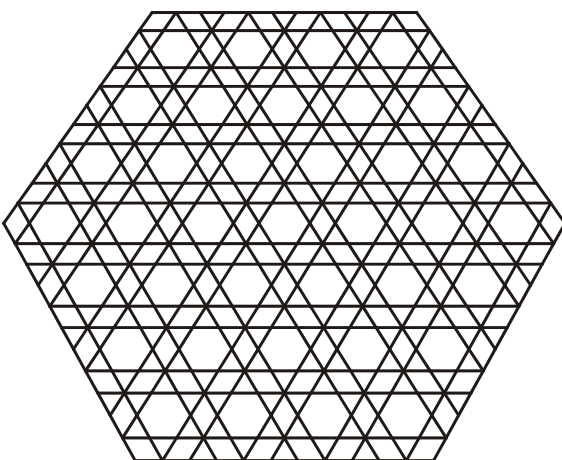
شکل ۲۴- شبکه قاجی تک لایه با نقش سه راهه / شش بری



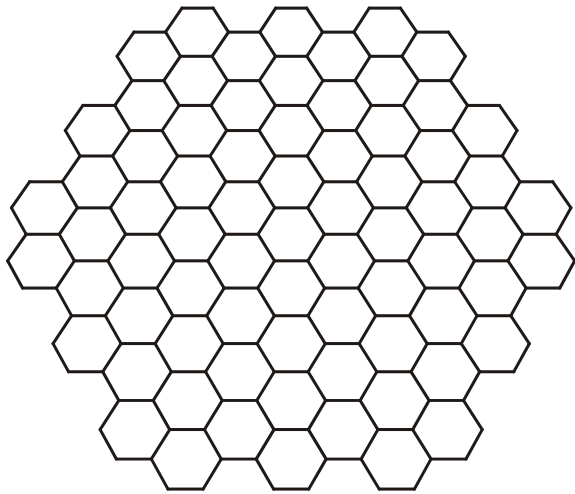
شکل ۲۵- شبکه قاجی تک لایه با نقش سه راهه / شش بری



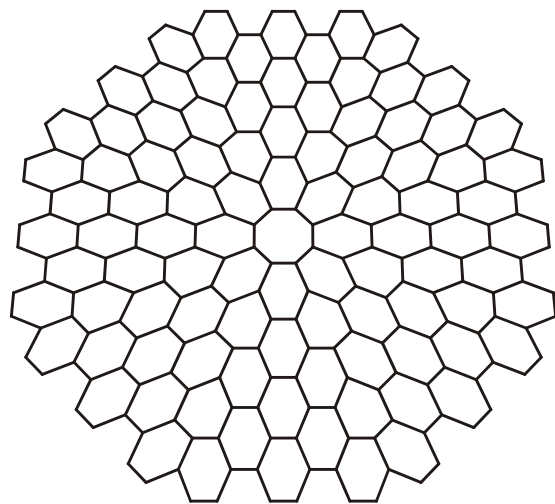
شکل ۲۶- شبکه قاجی تک لایه با نقش سه راهه / شش بری



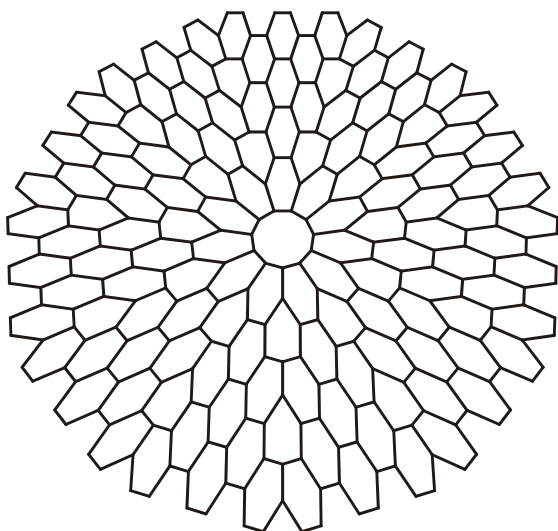
شکل ۲۷- شبکه قاجی تک لایه با نقش سه راهه / شش بری



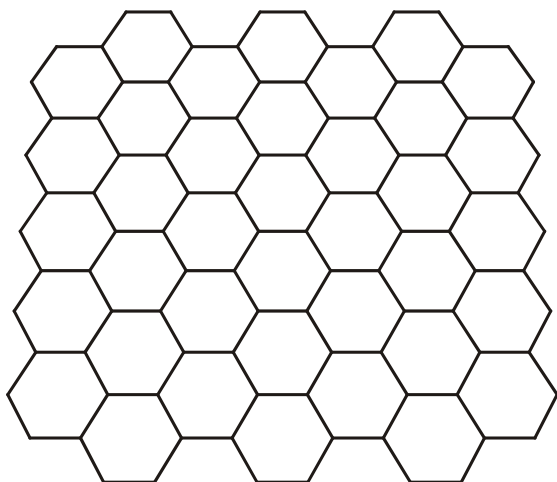
شکل ۲۸- شبکه قاجی تک لایه با نقش لانه زنبوری



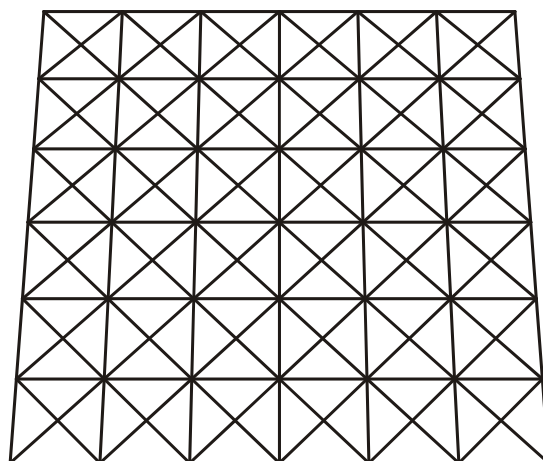
شکل ۲۹- شبکه قاجی تک لایه با نقش لانه زنبوری



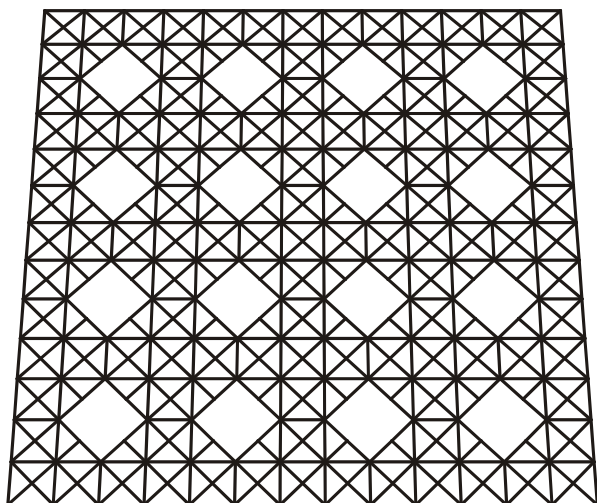
شکل ۳۰- شبکه قاجی تک لایه با نقش لانه زنبوری



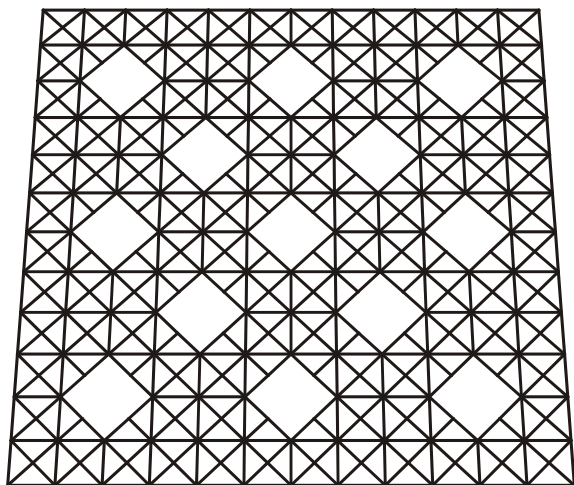
شکل ۳۱- شبکه تک لایه با نقش لانه زنبوری



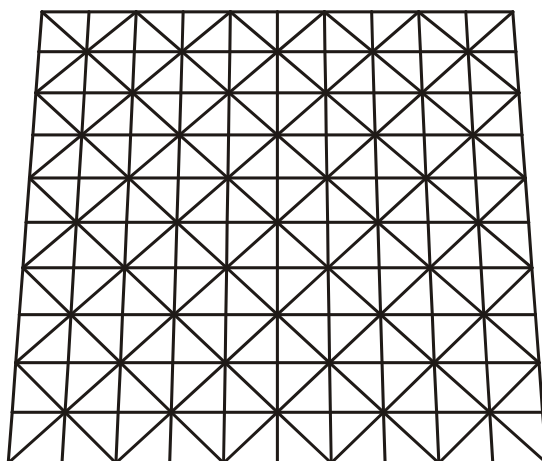
شکل ۳۲- شبکه تک لایه با نقش چهار راهه



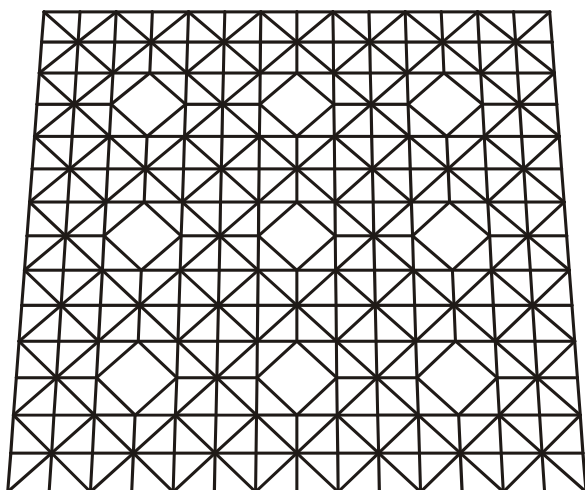
شکل ۳۳- شبکه تک لایه با نقش چهار راهه و چشمه های باز



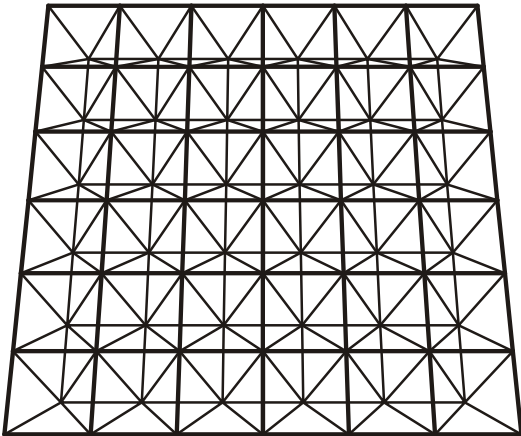
شکل ۳۴- شبکه تک لایه با نقش چهار راهه و چشمه های باز



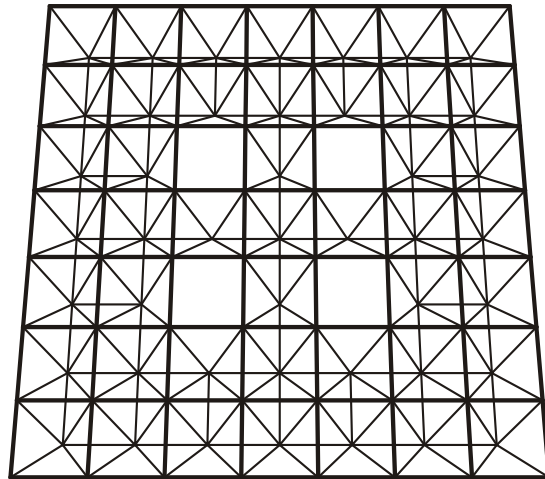
شکل ۳۵- شبکه تک لایه با نقش چهار راهه



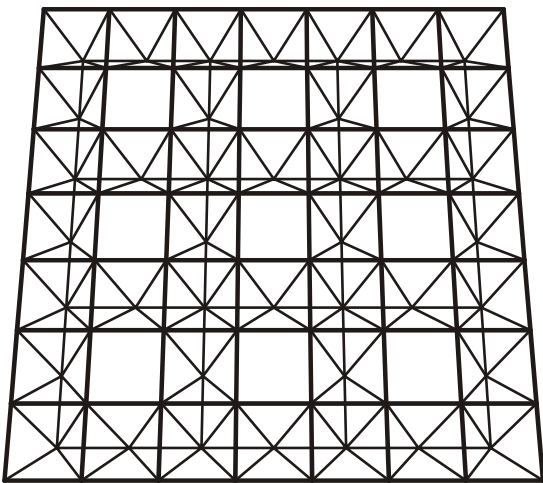
شکل ۳۶- شبکه تک لایه با نقش چهار راهه و چشمه های باز



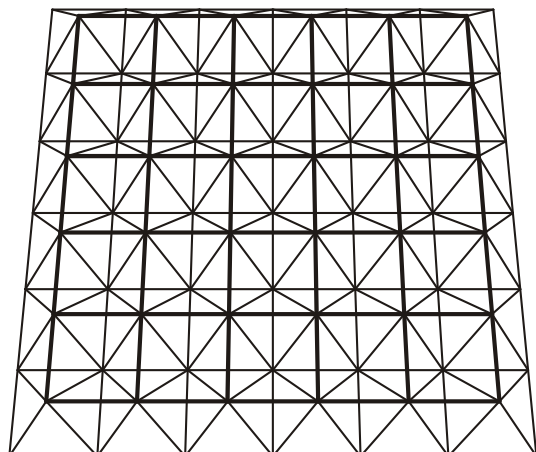
شکل ۳۷- شبکه‌ی دولایه با نقش دوراهه روی دوراهه (در سازه‌های دولایه در این پیوست، لایه‌ی بالا با خط کلفت‌تر و لایه‌ی پایین و جان با خط نازک‌تر نشان داده شده‌اند)



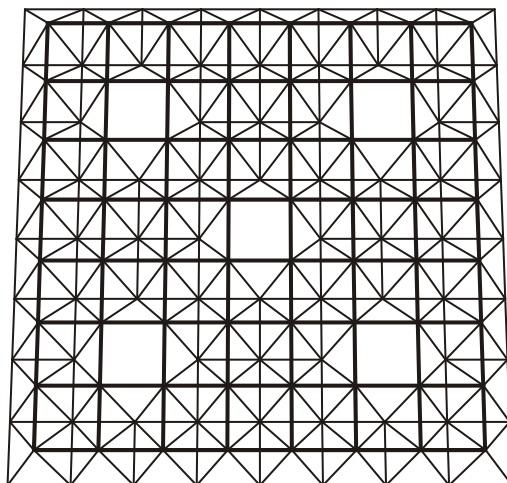
شکل ۳۸- شبکه‌ی دولایه با نقش دوراهه روی دوراهه و با چند چشمه‌ی باز



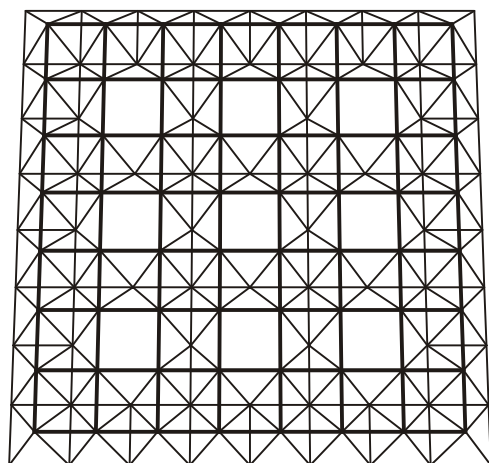
شکل ۳۹- شبکه‌ی دولایه با نقش دوراهه روی دوراهه بزرگ‌تر



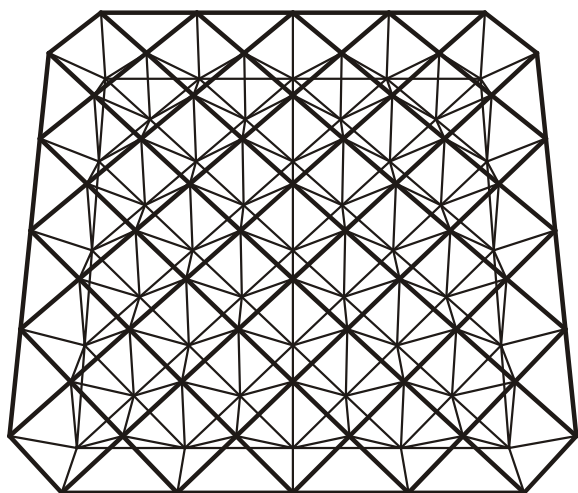
شکل ۴۰- شبکه دولایه با نقش دوراهه روی دوراهه و کناره "فراگرا"، بدین معنی که کناره از بالا به پایین به خارج تمایل دارد. در شکل ۳۷ کناره از بالا به پایین به داخل تمایل دارد. در این حالت کناره "فروگرا" خوانده می‌شود.



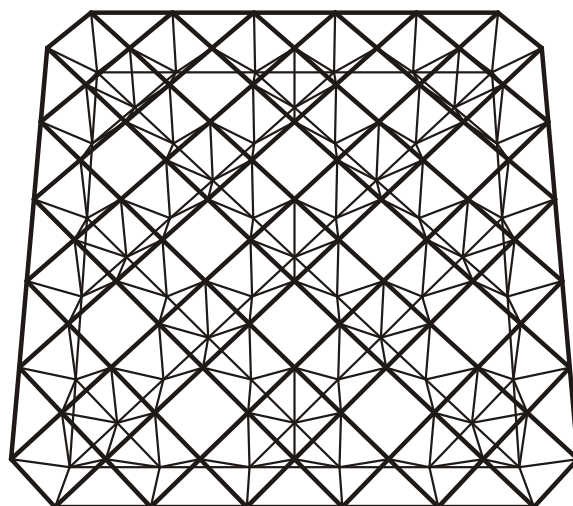
شکل ۴۱- شبکه دولایه فراگرا با نقش دوراهه روی دوراهه و با چند چشمه باز



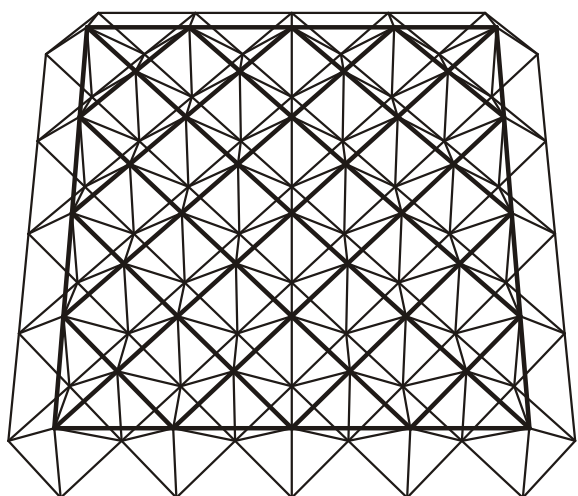
شکل ۴۲- شبکه دولایه فراگرا با نقش دوراهه روی دوراهه بزرگتر



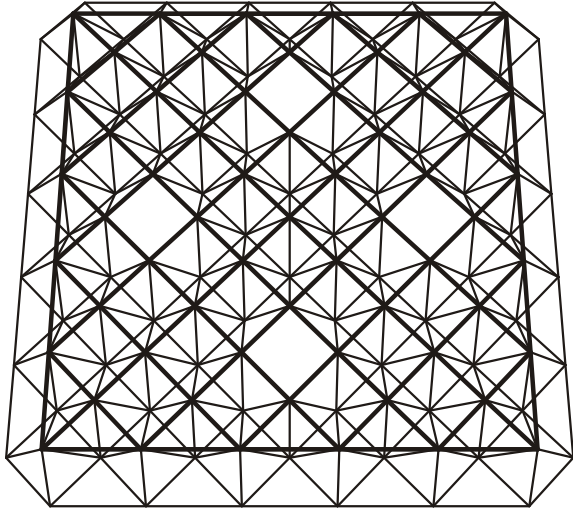
شکل ۴۳ - شبکه دو لایه با نقش اریبی روی اریبی



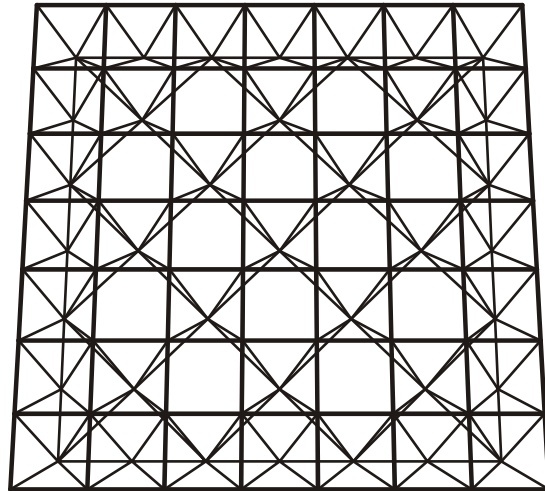
شکل ۴۴ - شبکه دو لایه با نقش اریبی روی اریبی بزرگتر



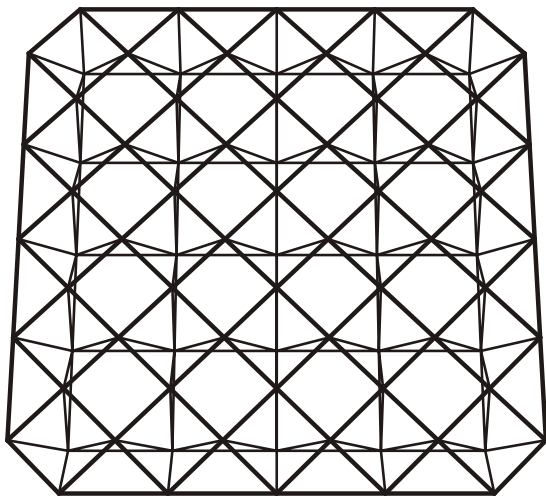
شکل ۴۵ - شبکه دو لایه فراگرا با نقش اریبی روی اریبی



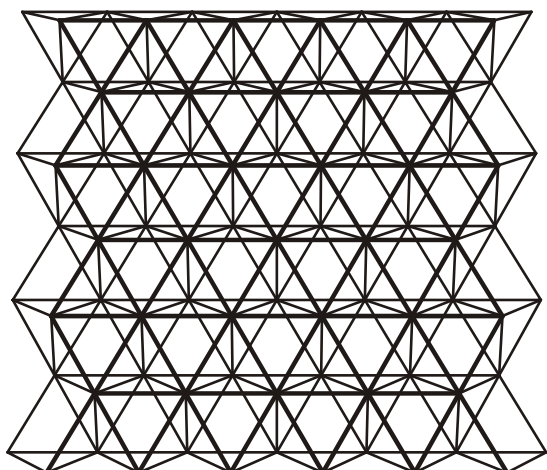
شکل ۴۶- شبکه‌ی دولایه‌ی فراگرا با نقش اریبی روی اریبی و با چند چشمه‌ی باز



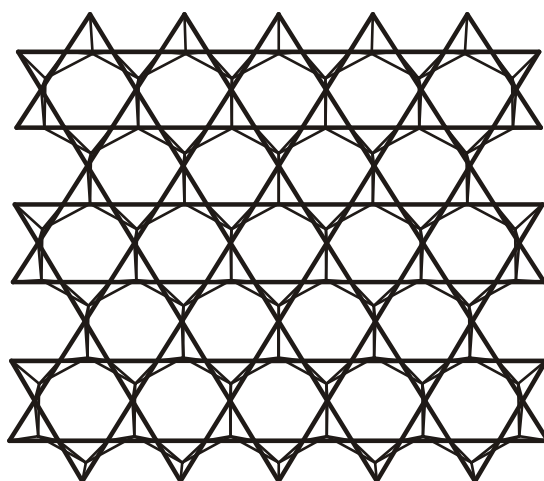
شکل ۴۷- شبکه‌ی دولایه با نقش دوراهه روی اریبی بزرگتر



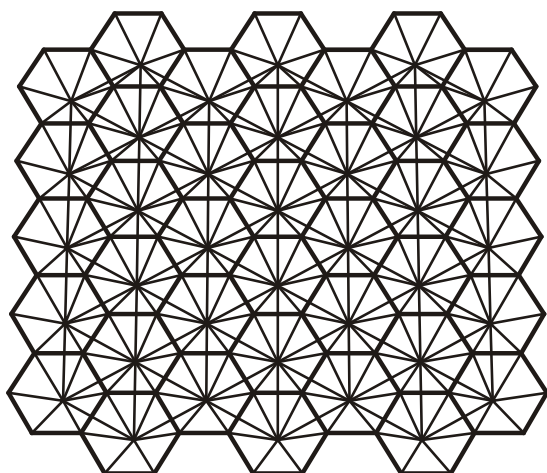
شکل ۴۸- شبکه‌ی دولایه با نقش اریبی روی دوراهه بزرگتر



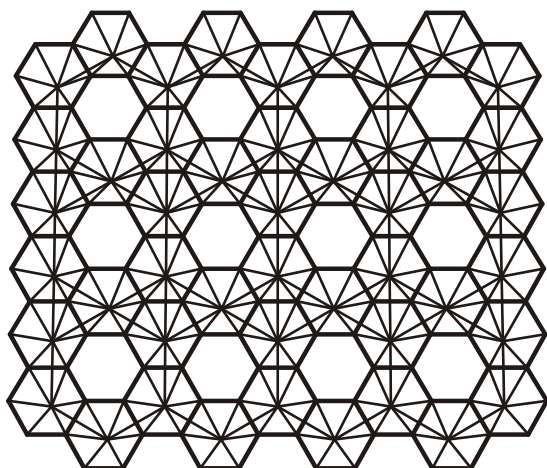
شکل ۴۹- شبکه دو لایه با نقش سه راهه روی سه راهه



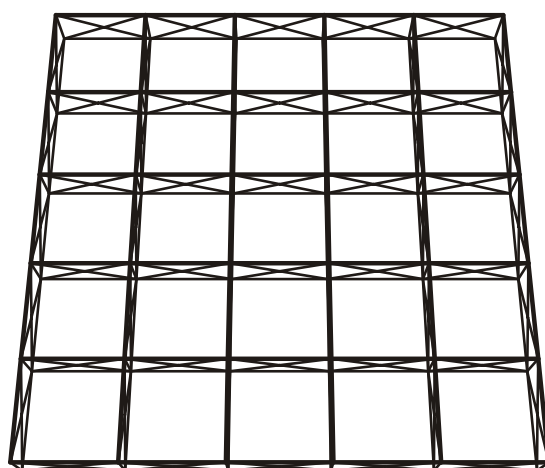
شکل ۵۰- شبکه دو لایه با نقش شش بری روی شش بری



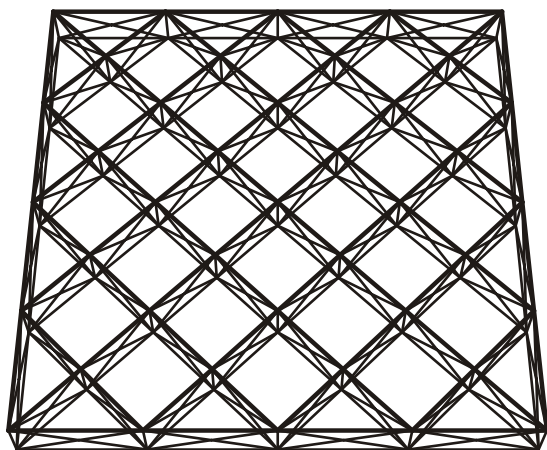
شکل ۵۱- شبکه دو لایه با نقش شش بری روی مثلث



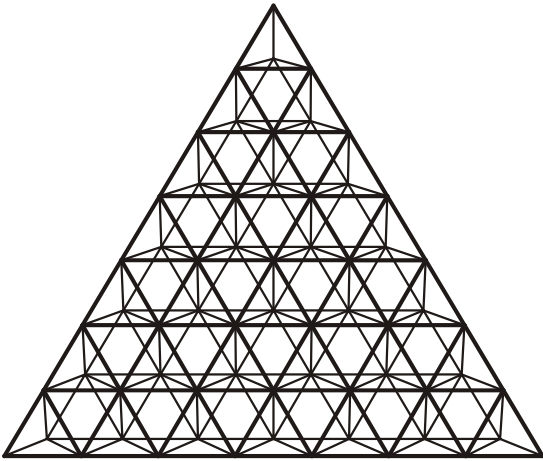
شکل ۵۲- شبکه دولایه با نقش شش بری روی شش بری بزرگتر



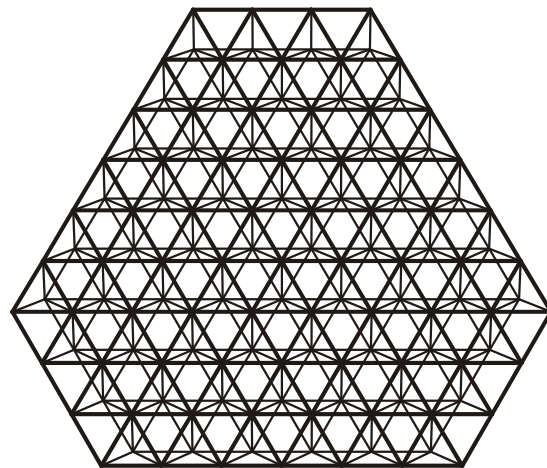
شکل ۵۳- شبکه دولایه خرابایی با نقش دوراهه



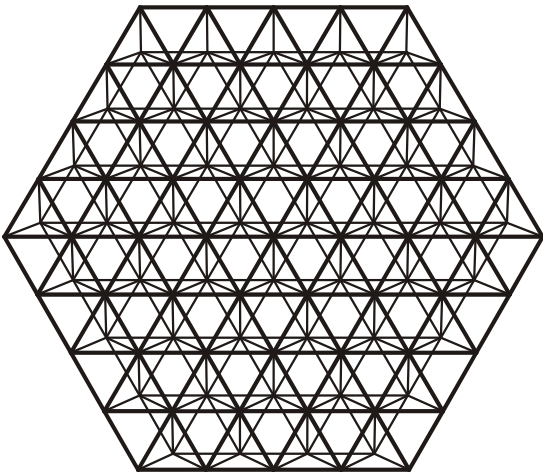
شکل ۵۴- شبکه دولایه خرابایی با نقش اریبی



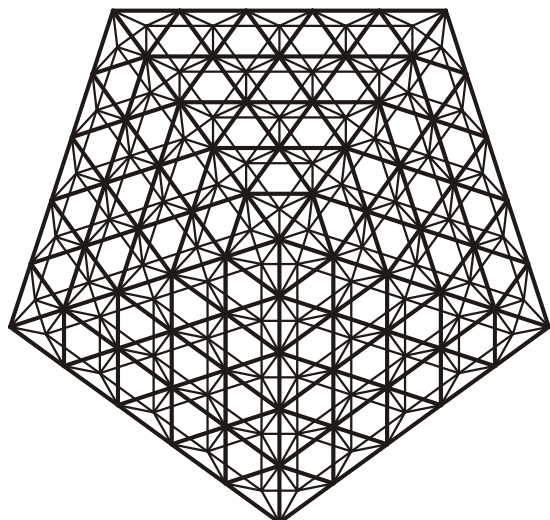
شکل ۵۵- شبکه‌دولایه با نقش سه راهه روی سه راهه و پلان مثلثی



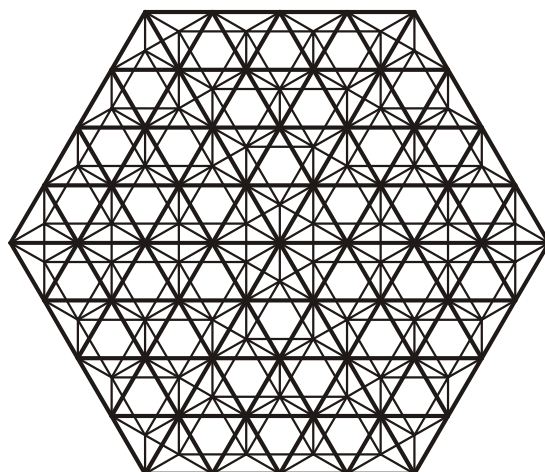
شکل ۵۶- شبکه‌دولایه با نقش سه راهه روی سه راهه و پلان مثلثی با گوشه‌های بریده



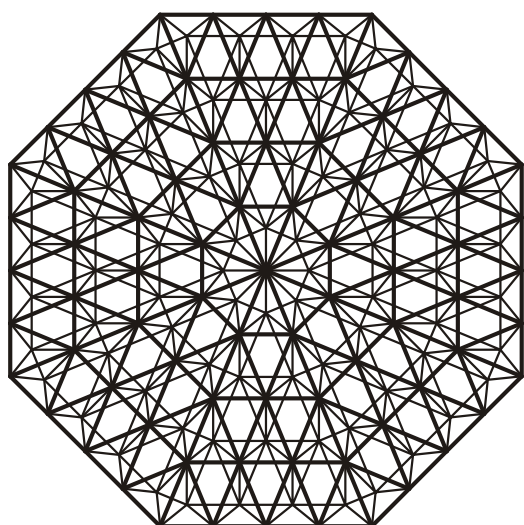
شکل ۵۷- شبکه‌دولایه با نقش سه راهه روی سه راهه و پلان مثلثی با گوشه‌های بریده



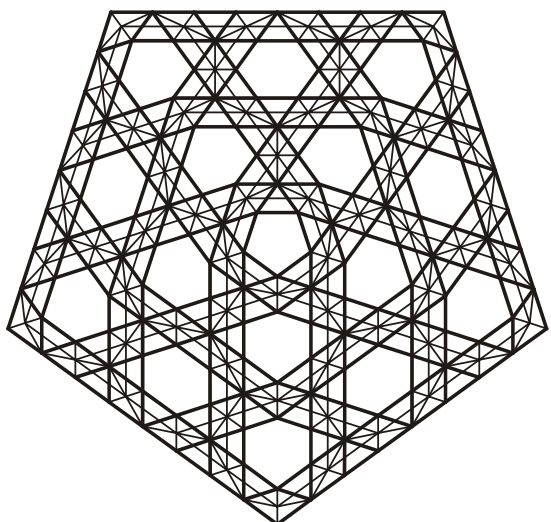
شکل ۵۸- شبکه دولایه قاچی با نقش سه راهه روی سه راهه



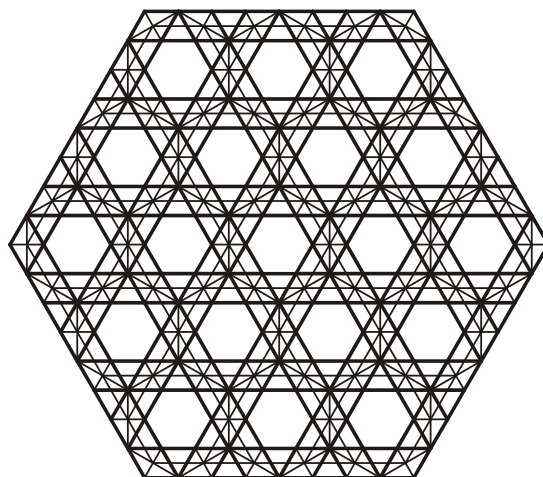
شکل ۵۹- شبکه دولایه قاچی با نقش سه راهه روی سه راهه



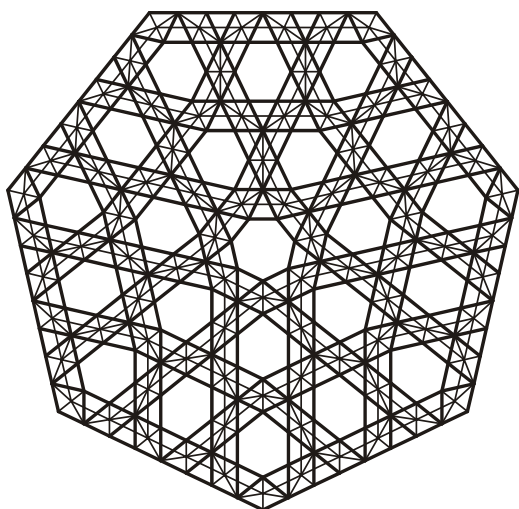
شکل ۶۰- شبکه دولایه قاچی با نقش سه راهه روی سه راهه



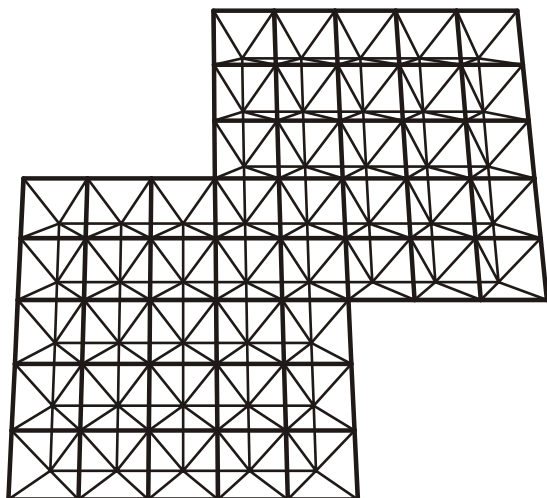
شکل ۶۱- شبکه دولایه قاچی با نقش سه راهه / شش بری روی سه راهه / شش بری



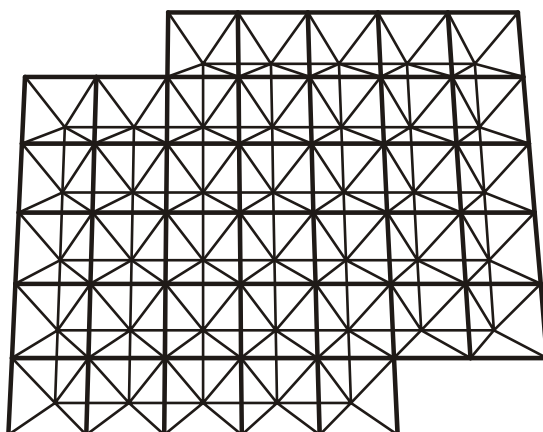
شکل ۶۲- شبکه دولایه قاچی با نقش سه راهه / شش بری روی سه راهه / شش بری



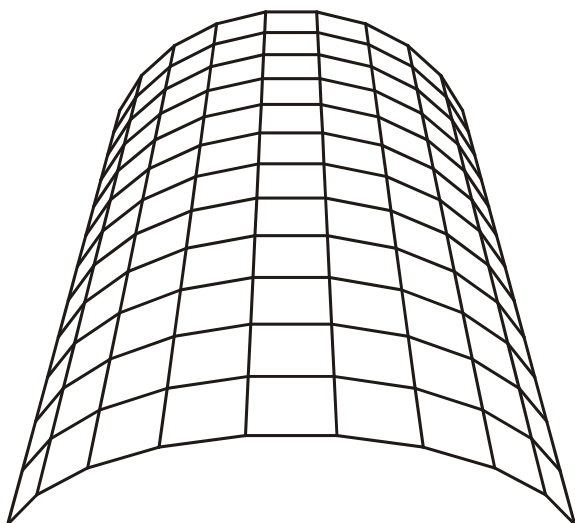
شکل ۶۳- شبکه دولایه قاچی با نقش سه راهه / شش بری روی سه راهه / شش بری



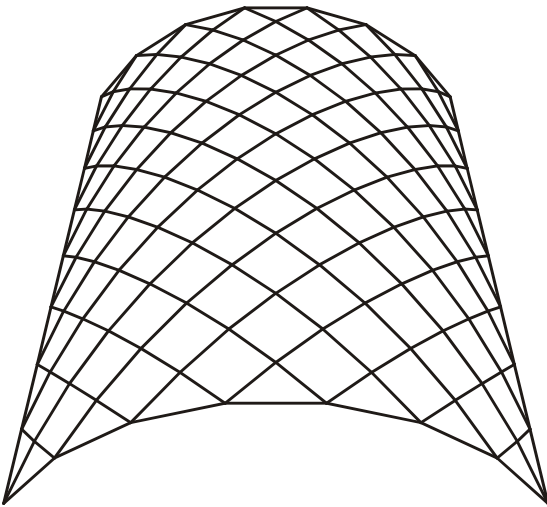
شکل ۶۴- شبکه دو لایه مرکب با نقش دوراهه روی دوراهه (بدست آمده از ترکیب دو شبکه دو لایه)



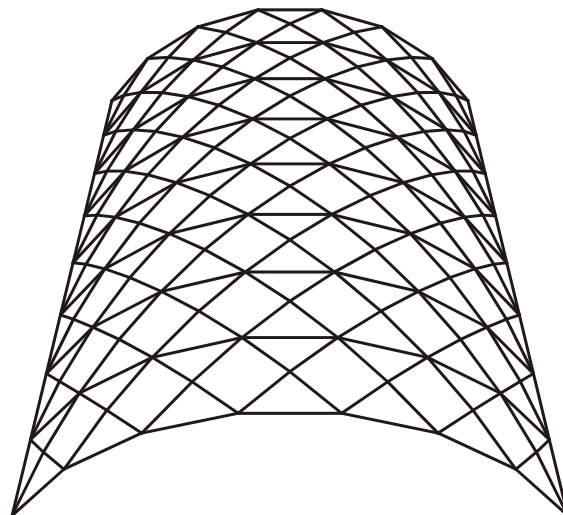
شکل ۶۵- شبکه دو لایه مرکب با نقش دوراهه روی دوراهه



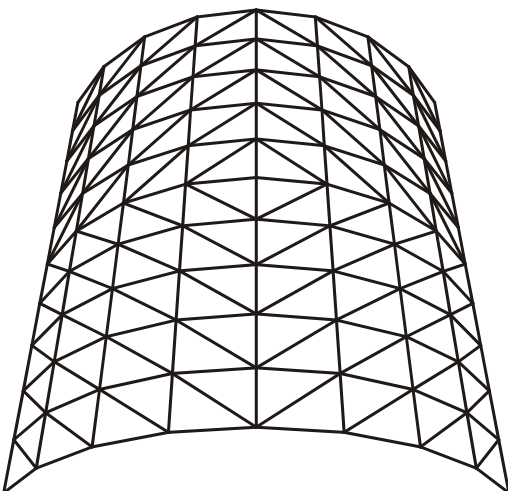
شکل ۶۶- چلیک با نقش دوراهه



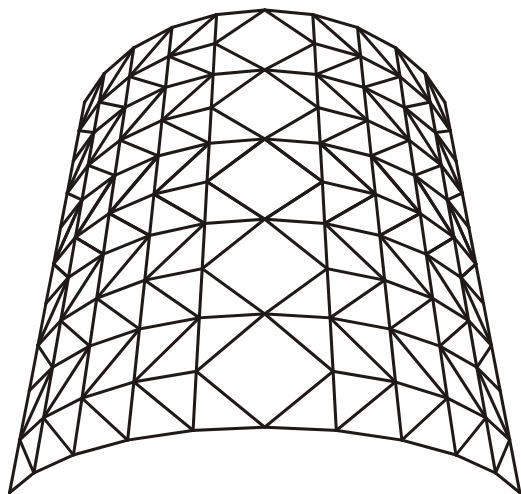
شکل ۶۷- چلیک با نقش لملا (اریبی)



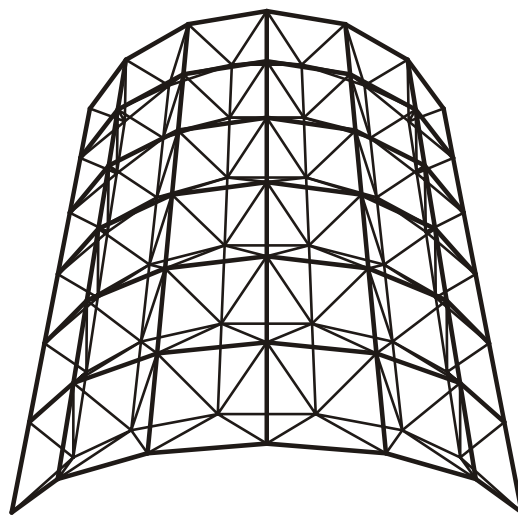
شکل ۶۸- چلیک لملا با دنده های اضافی



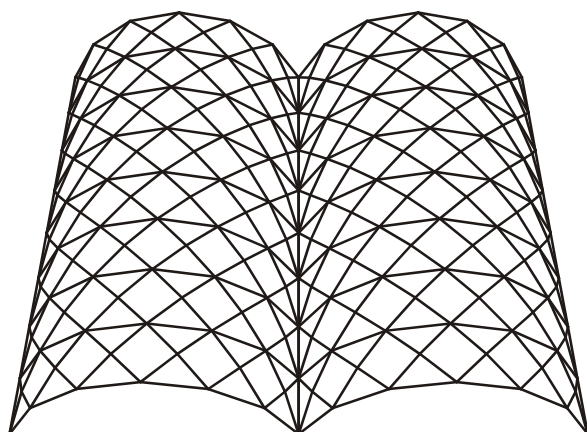
شکل ۶۹- چلیک دورا هه با هموندهای قطری اضافی



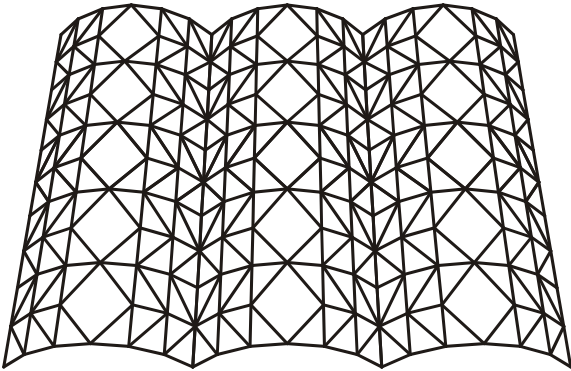
شکل ۷۰- چلیک دوراچه با هموندهای قطری اضافی



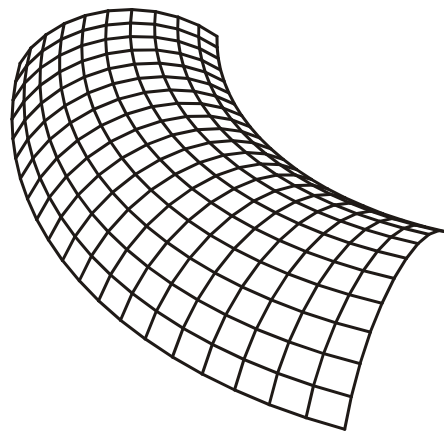
شکل ۷۱- چلیک دو لایه با نقش دوراچه روی دوراچه



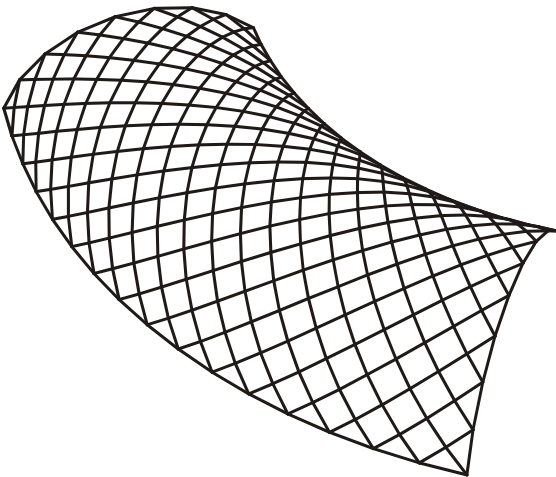
شکل ۷۲- چلیک مرکب با نقش لملا و دنده‌های اضافی



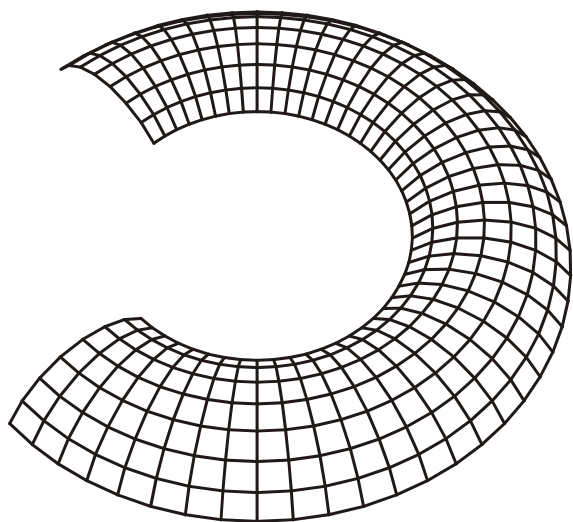
شکل ۷۳- چلیک مرکب با نقش دوراوه و هموندهای قطری اضافی



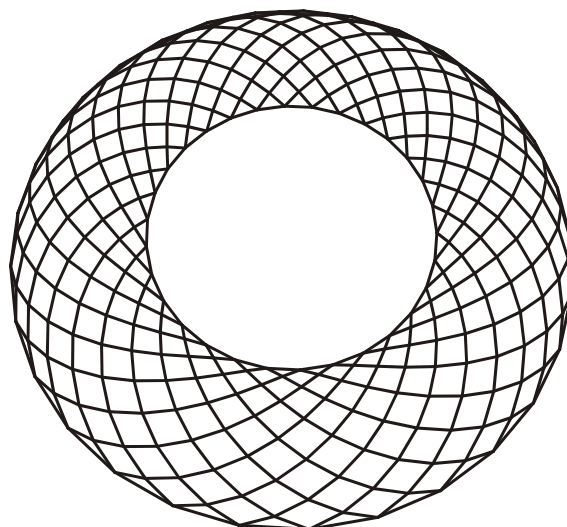
شکل ۷۴- چلیک چنبره ای پهلو خمیده با نقش دوراوه



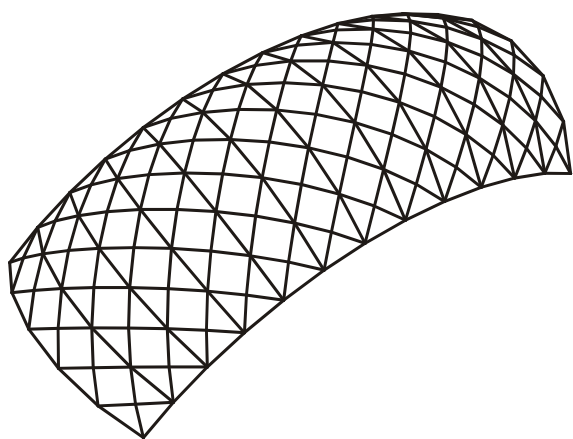
شکل ۷۵- چلیک چنبره ای پهلوخمیده با نقش لملا (اریبی)



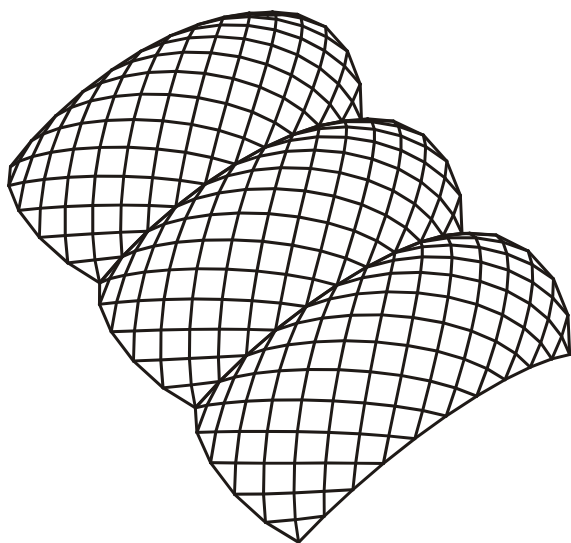
شکل ۷۶- چلیک چنبره ای پهلوخمیده نعل اسبی با نقش دوراوه



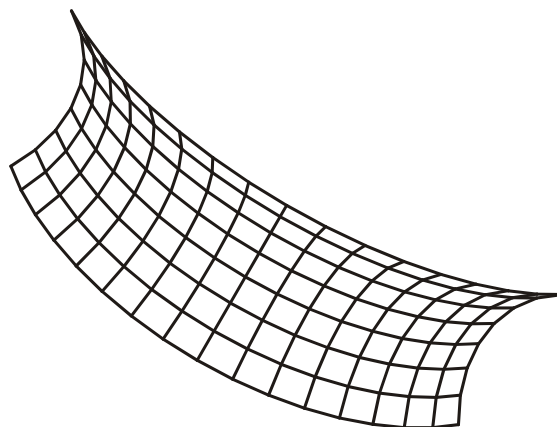
شکل ۷۷- چلیک چنبره ای پهلوخمیده حلقوی با نقش لملا (اریبی)



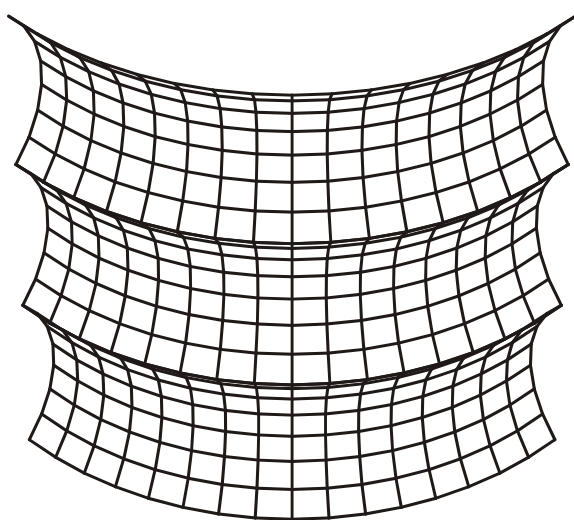
شکل ۷۸- چلیک چنبره ای برون خمیده با نقش لملا



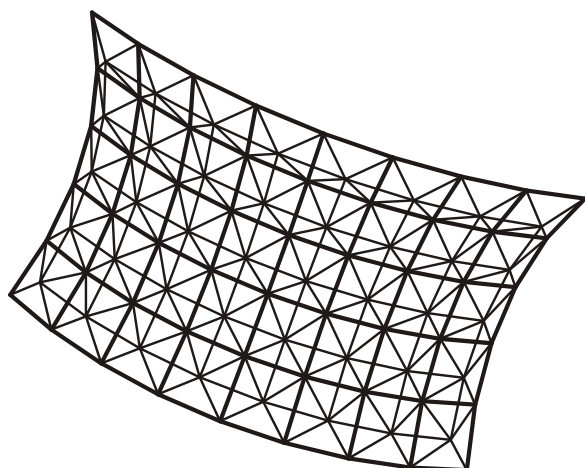
شکل ۷۹- چلیک مرکب چنبره ای برون خمیده با نقش لملا



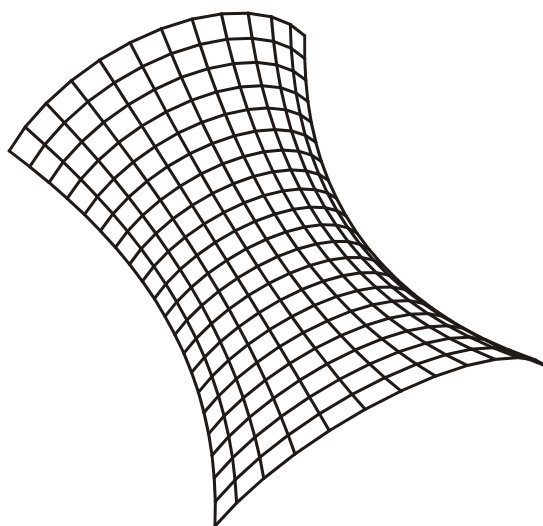
شکل ۸۰- چلیک چنبره ای درون خمیده با نقش دوراهه



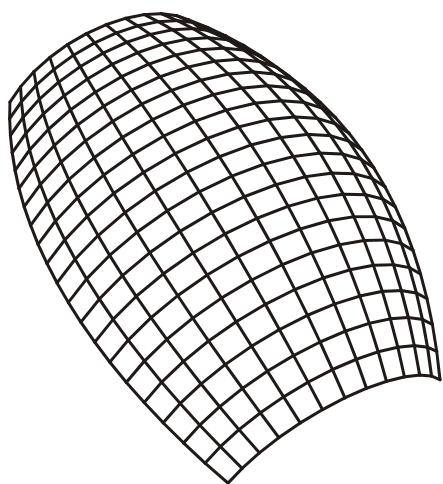
شکل ۸۱- چلیک مرکب چنبره ای درون خمیده با نقش دوراهه



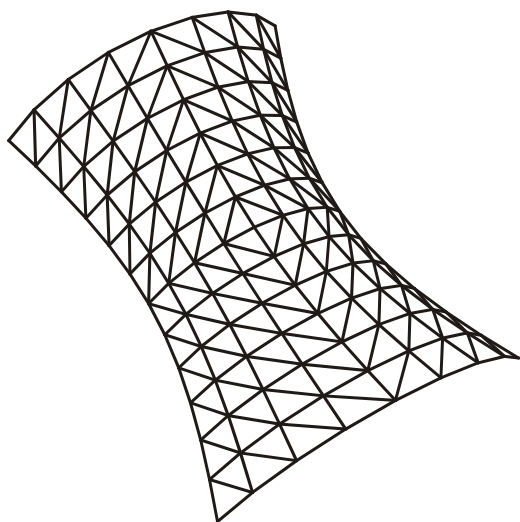
شکل ۸۲- چلیک دولایهٔ چنبره ای درون خمیده با نقش دوراهه روی دوراهه



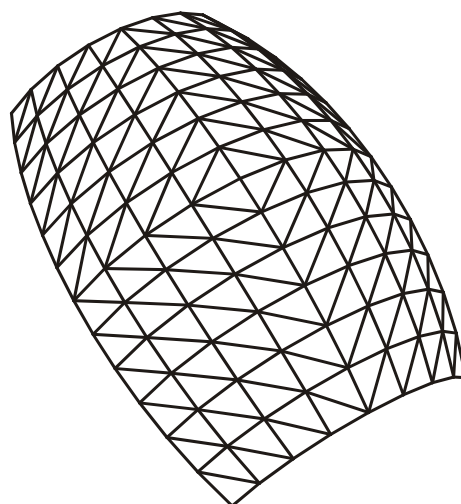
شکل ۸۳- چلیک زین اسبی سهموی با نقش دوراهه



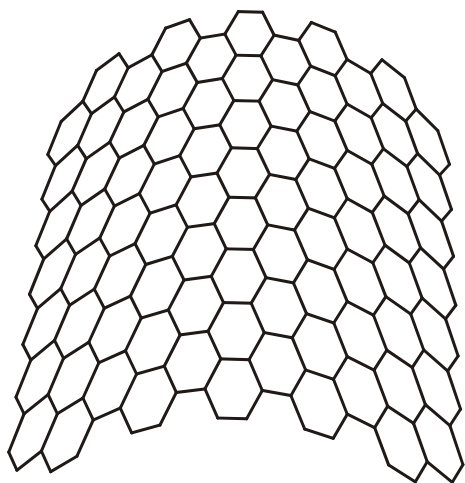
شکل ۸۴- چلیک خمره ای سهموی با نقش دوراهه



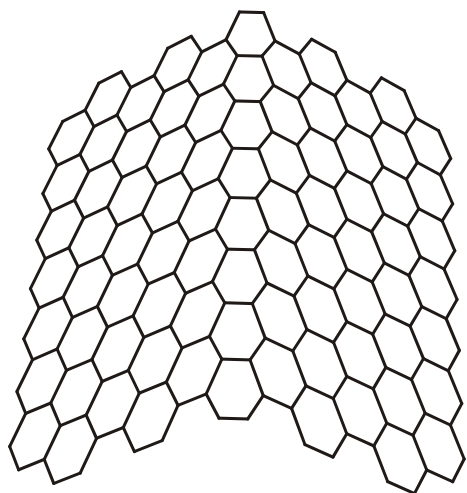
شکل ۸۵- چلیک زین اسبی هندولولوی



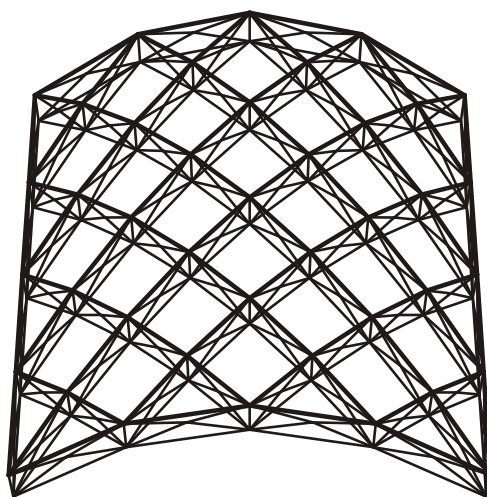
شکل ۸۶- چلیک خم‌ره ای بیضوی



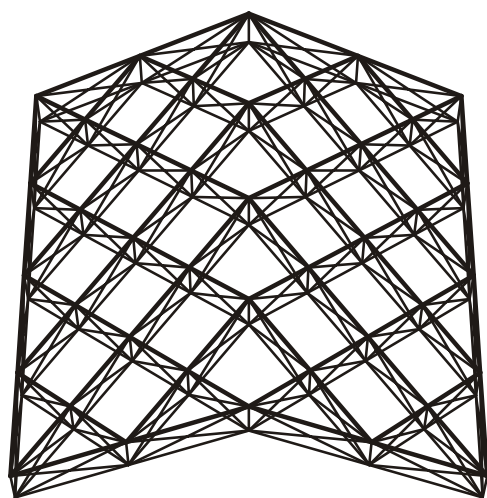
شکل ۸۷- چلیک سهموی فرازشی با نقش لانه زنبوری



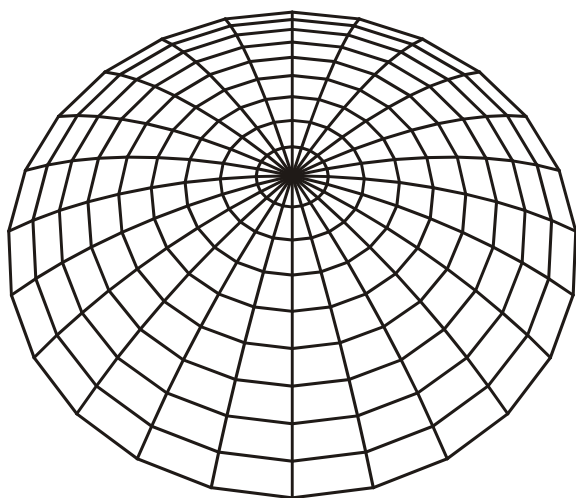
شکل ۸۸- چلیک لته ای فرازشی با نقش لانه زنبوری



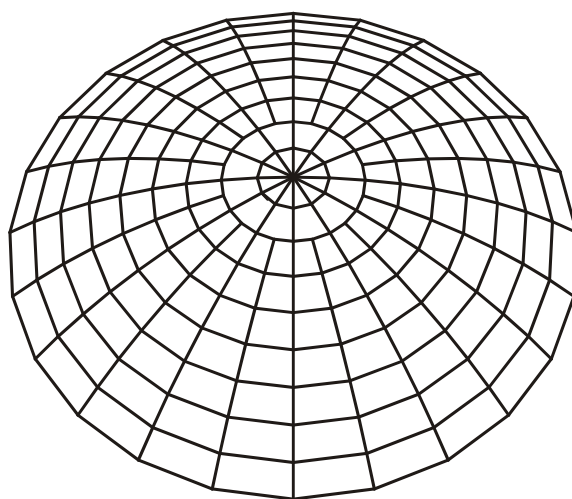
شکل ۸۹- چلیک سهموی دولایه فرازشی خریایی لملا



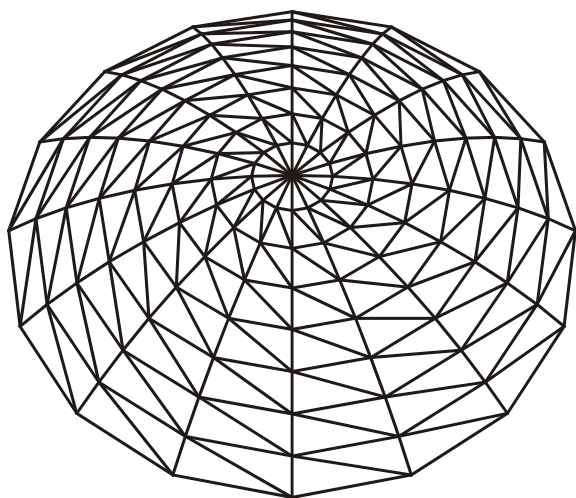
شکل ۹۰- چلیک لته ای دولایه فرازشی خریایی لملا



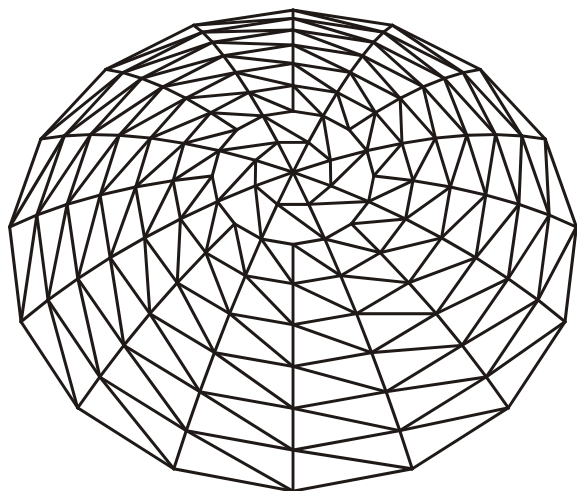
شکل ۹۱- گنبد دنده ای



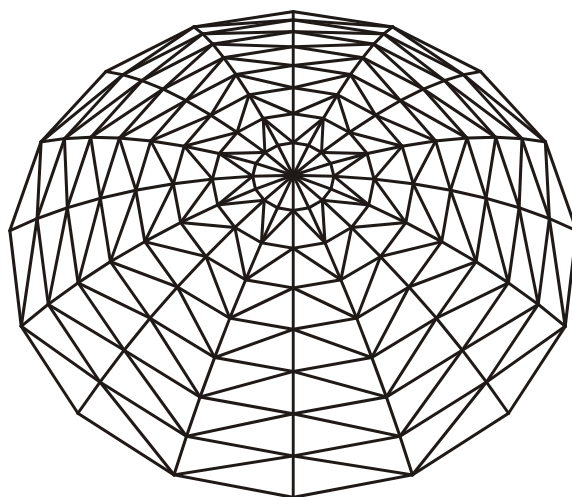
شکل ۹۲- گنبد دنده ای هرس شده



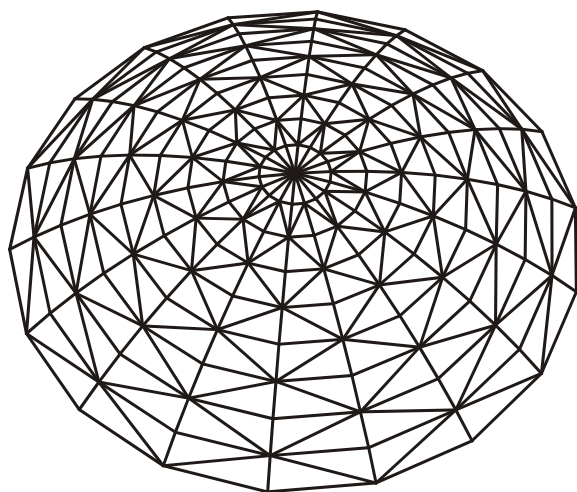
شکل ۹۳- گنبد اشودلر



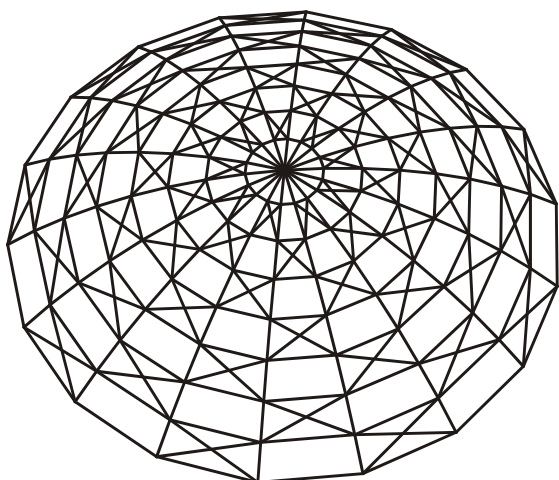
شکل ۹۴- گنبد اشودلر هرس شده



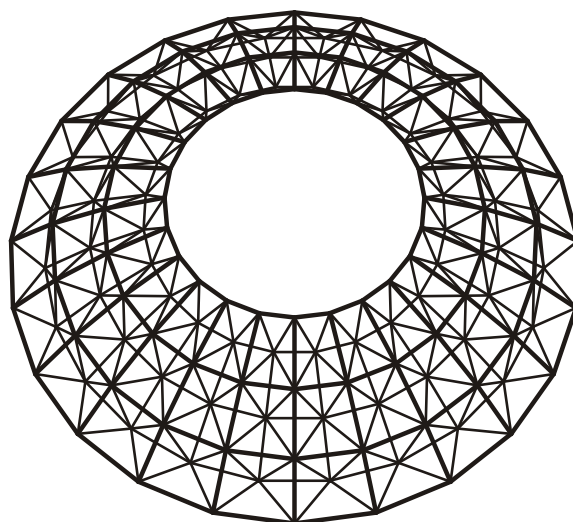
شکل ۹۵- گنبد اشودلر



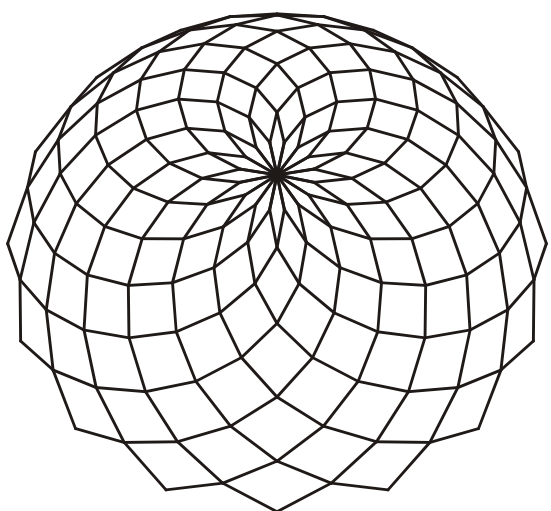
شکل ۹۶- گنبد اشودلر



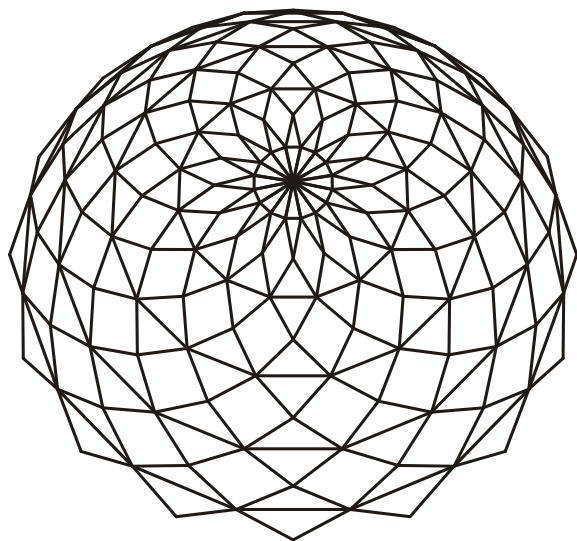
شکل ۹۷- گنبد اشودلر



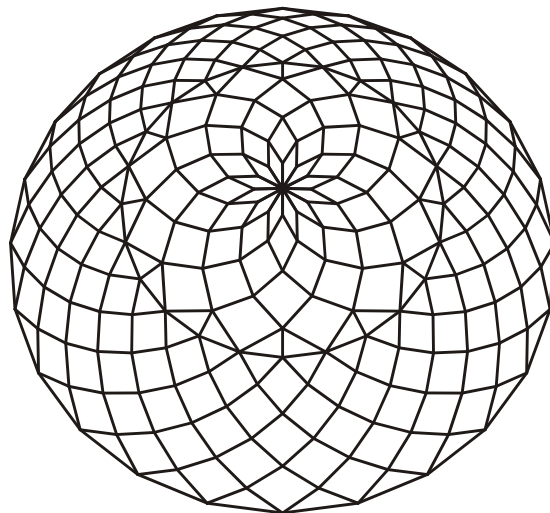
شکل ۹۸- گنبد دولایه دنده ای میان باز



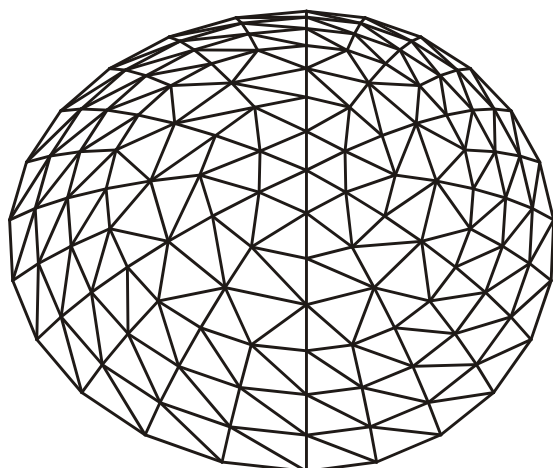
شکل ۹۹- گنبد لملا



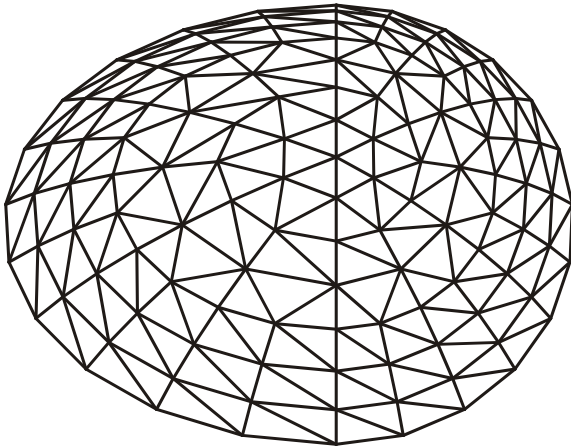
شکل ۱۰۰- گنبد لملا



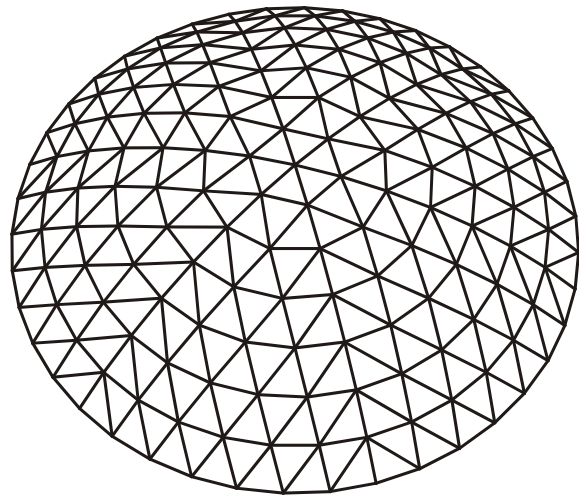
شکل ۱۰۱- گنبد لمالی هرس شده



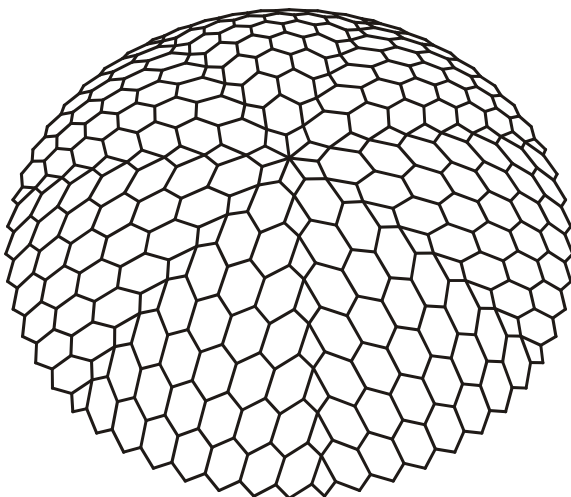
شکل ۱۰۲- گنبد تخم مرغی با ضرایب ۱ و ۲ برای مقیاس دو نیمه گنبد



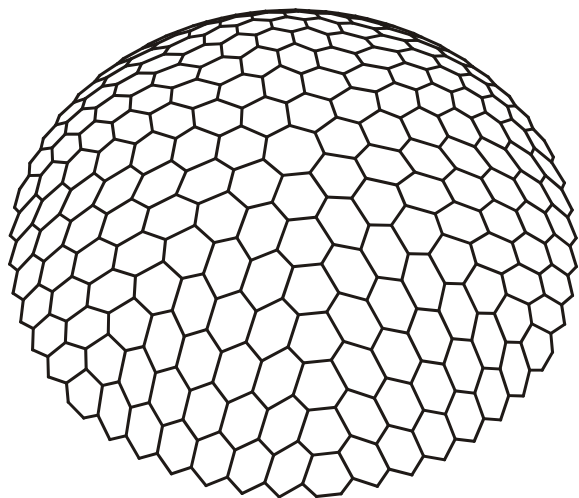
شکل ۱۰۳- گنبد تخم‌مرغی با ضرایب ۱ و ۱٫۴ برای مقیاس دو نیمه گنبد



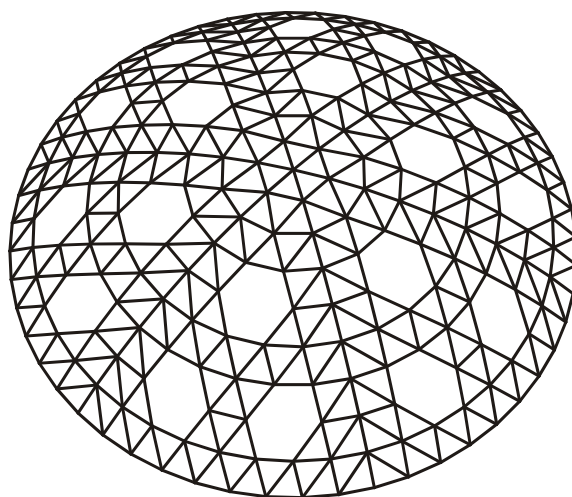
شکل ۱۰۴- گنبد دیامتیک



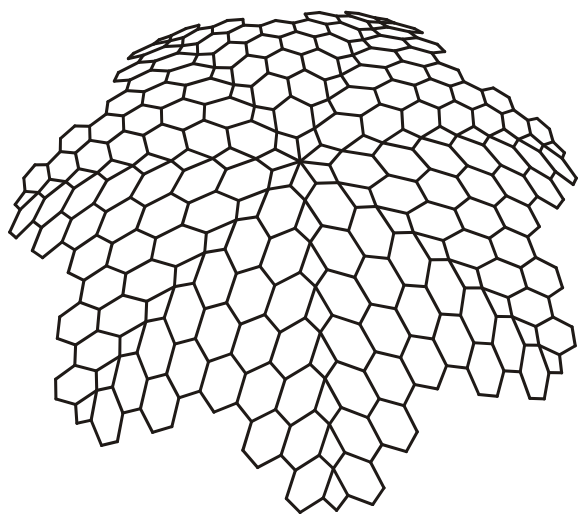
شکل ۱۰۵- گنبد دیامتیک



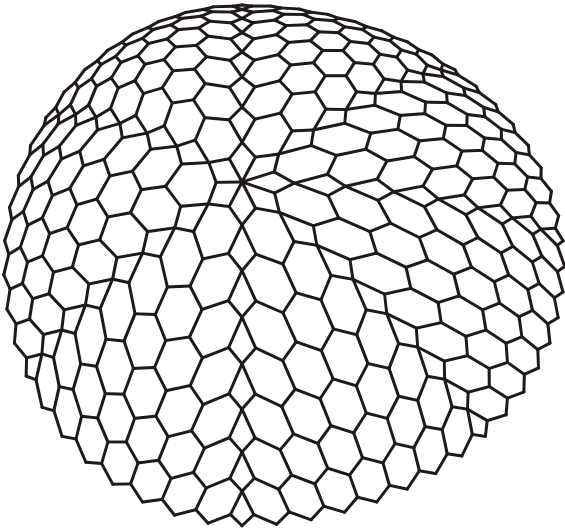
شکل ۱۰۶- گنبد دیامتیک



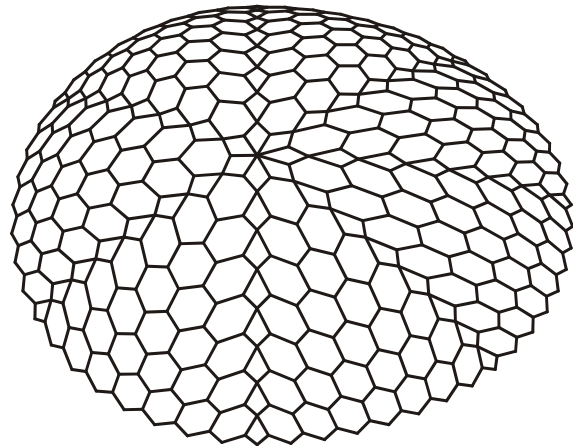
شکل ۱۰۷- گنبد دیامتیک



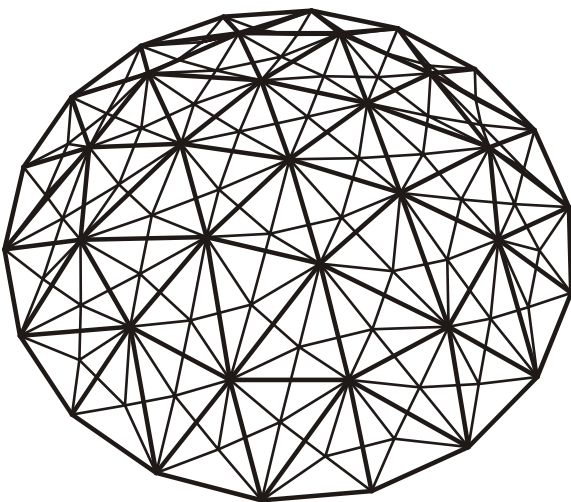
شکل ۱۰۸- گنبد دیامتیک



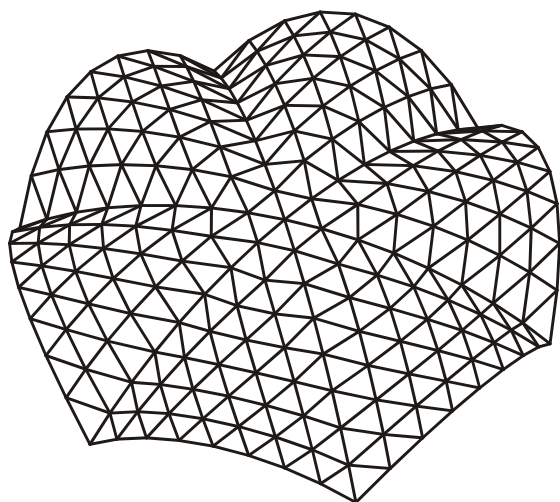
شکل ۱۰۹- گنبد تخم‌مرغی با ضرایب $1/15$ و $0/85$ برای مقیاس دو نیمه گنبد



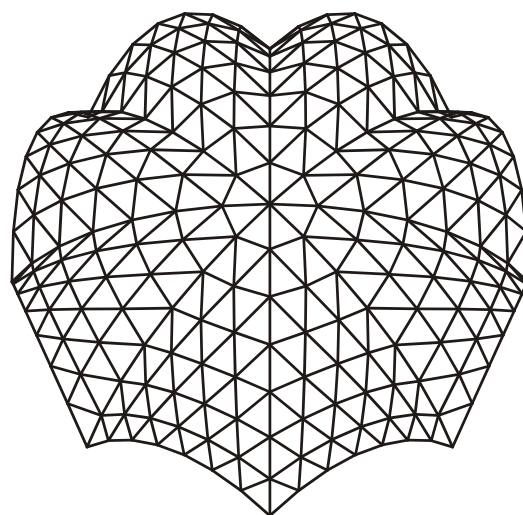
شکل ۱۱۰- گنبد تخم‌مرغی با ضرایب $1/35$ و $1/05$ برای مقیاس دو نیمه گنبد



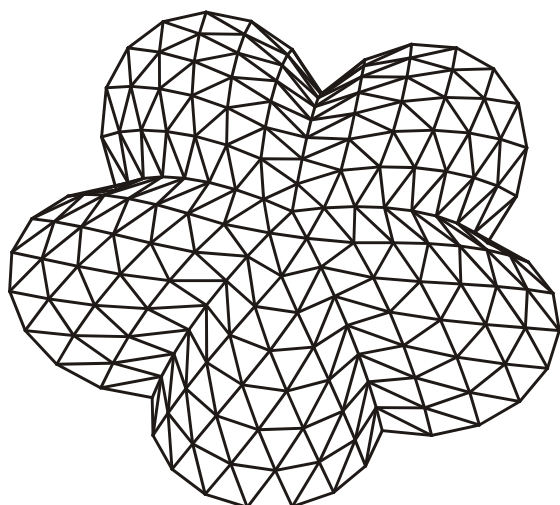
شکل ۱۱۱- گنبد دولایه دیامتیک



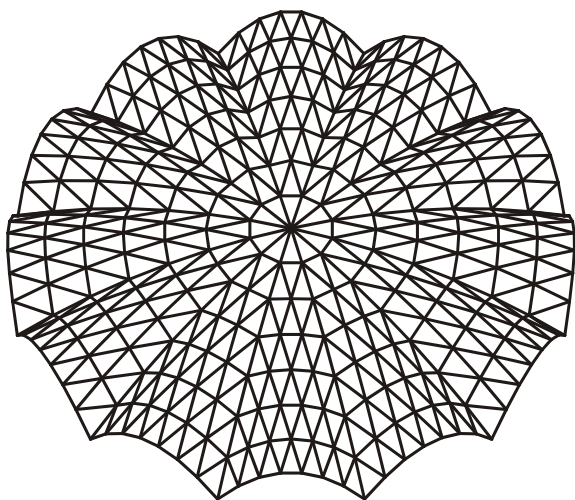
شکل ۱۱۲- گنبد اسکالپ با کد ۱، برآمدگی ۹ و پیش‌آمدگی صفر



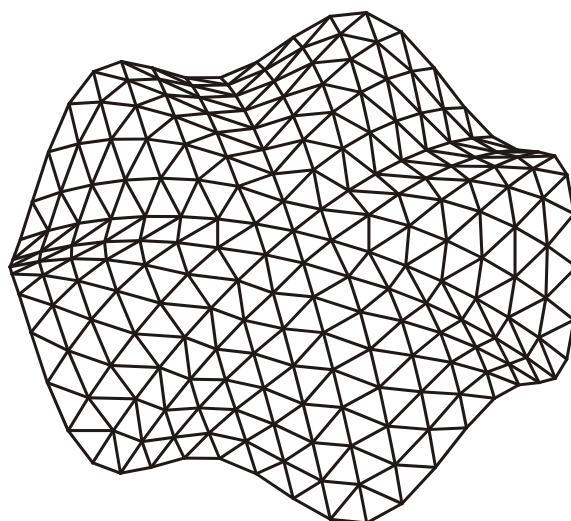
شکل ۱۱۳- گنبد اسکالپ با کد ۱، برآمدگی ۱۵ و پیش‌آمدگی صفر



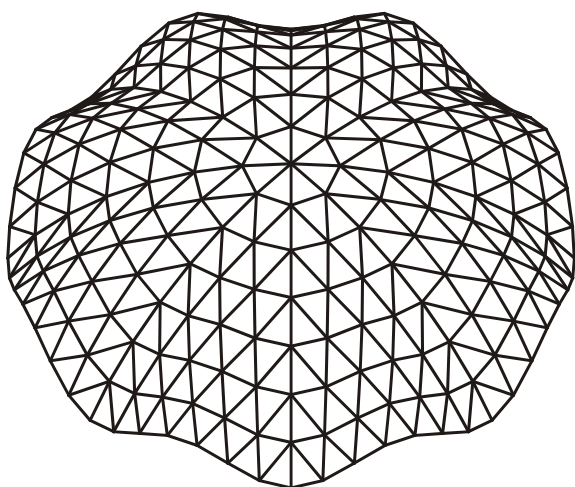
شکل ۱۱۴- گنبد اسکالپ با کد ۱، برآمدگی ۸ و پیش‌آمدگی ۱۵



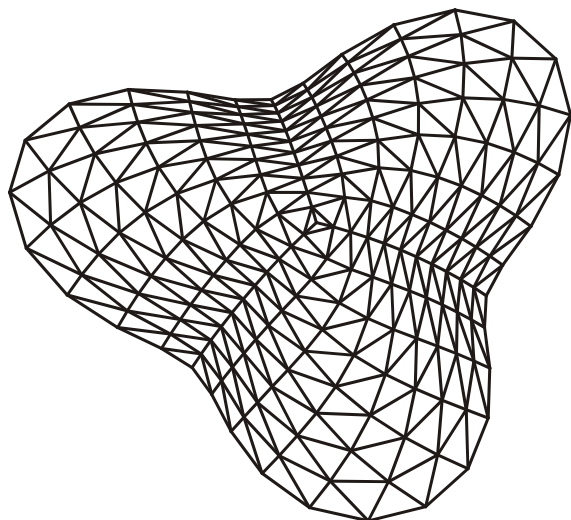
شکل ۱۱۵- گنبد اسکالپ با کد ۱، برآمدگی ۴ و پیش‌آمدگی صفر



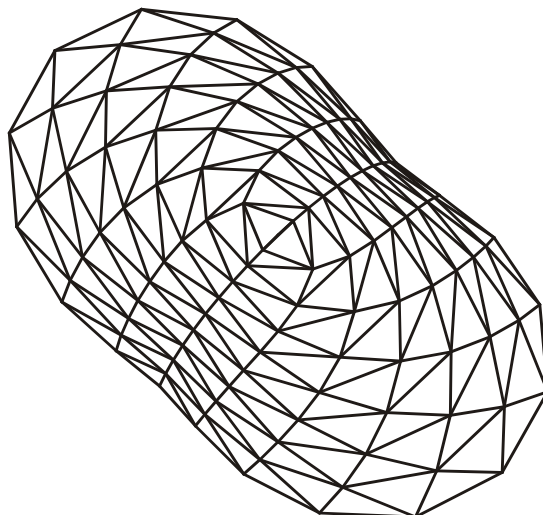
شکل ۱۱۶- گنبد اسکالپ با کد ۲، برآمدگی ۱۰ و پیش‌آمدگی صفر



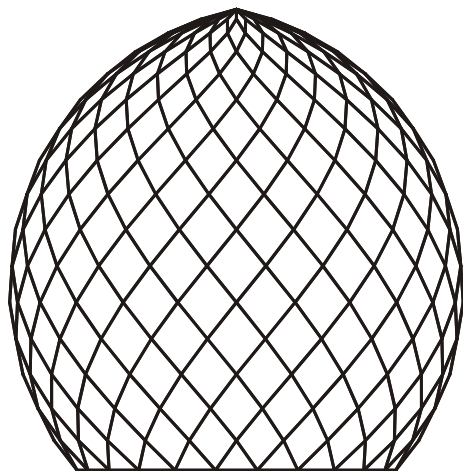
شکل ۱۱۷- گنبد اسکالپ با کد ۲، برآمدگی ۶ و پیش‌آمدگی صفر



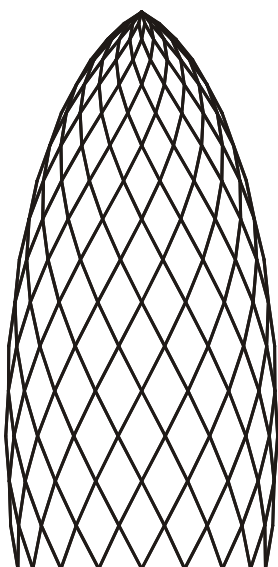
شکل ۱۱۸- گنبد اسکالپ با کد ۲، برآمدگی ۵ و پیش آمدگی ۲۰



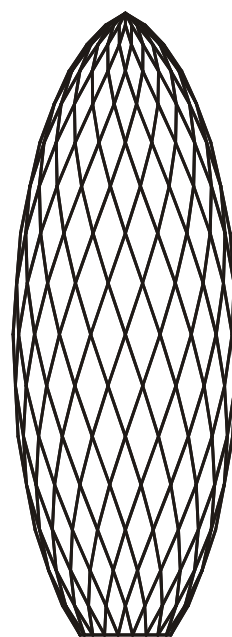
شکل ۱۱۹- گنبد اسکالپ با کد ۲، برآمدگی ۸ و پیش آمدگی ۳۰



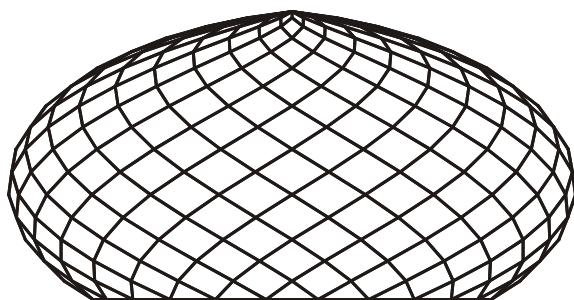
شکل ۱۲۰- گنبد پیازی با نقش لملا (نمای جانبی)



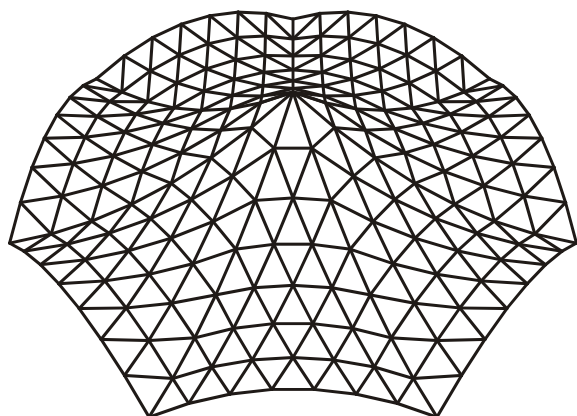
شکل ۱۲۱- گنبد پیازی کشیده با نقش لملا (نمای جانبی)



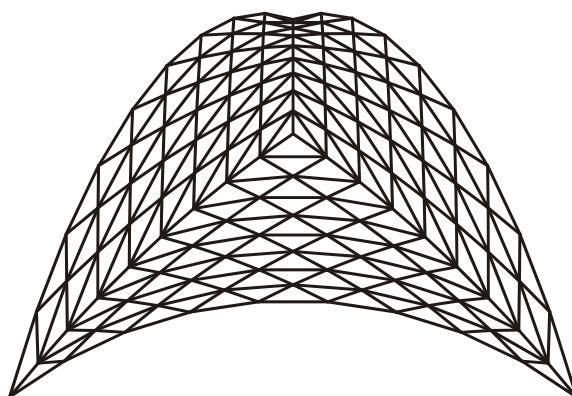
شکل ۱۲۲- گنبد پیازی کشیده با نقش لملا (نمای جانبی)



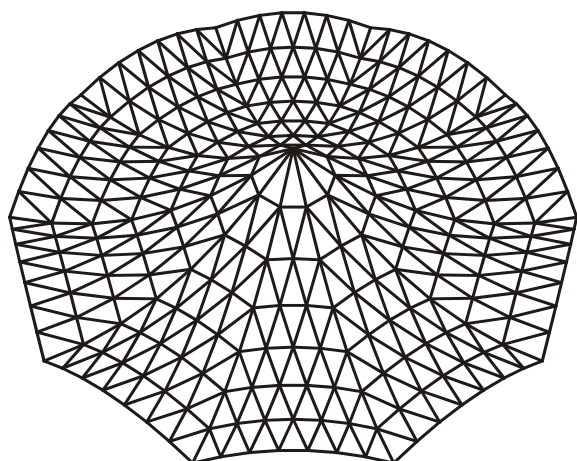
شکل ۱۲۳- گنبد پیازی یخ با نقش لملا (نمای جانبی)



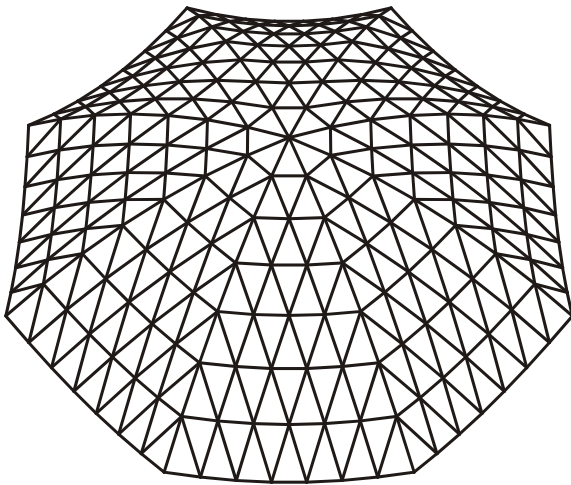
شکل ۱۲۴- گنبد گل ختمی (فراخمیده)



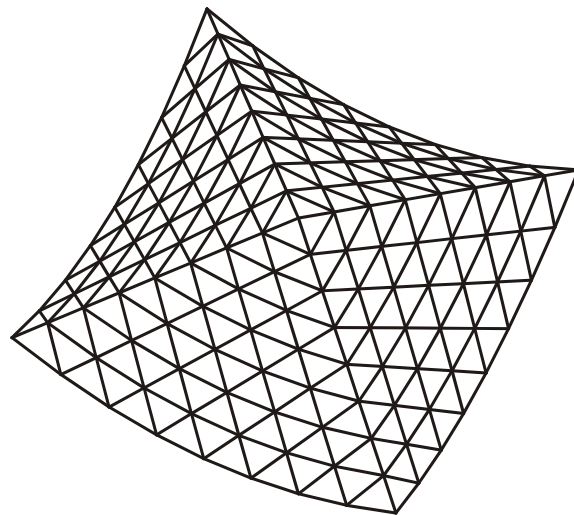
شکل ۱۲۵- گنبد گل ختمی (فراخمیده)



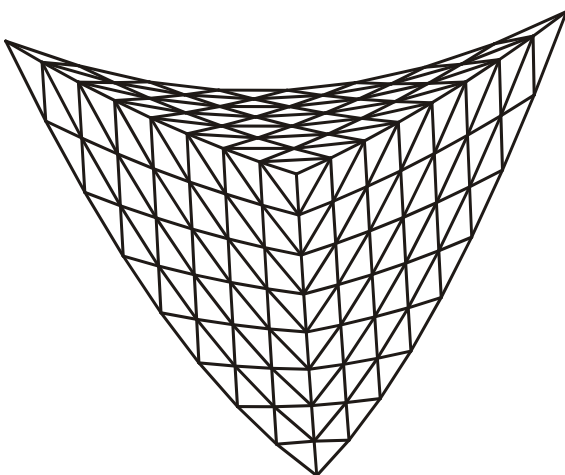
شکل ۱۲۶- گنبد گل ختمی (فراخمیده)



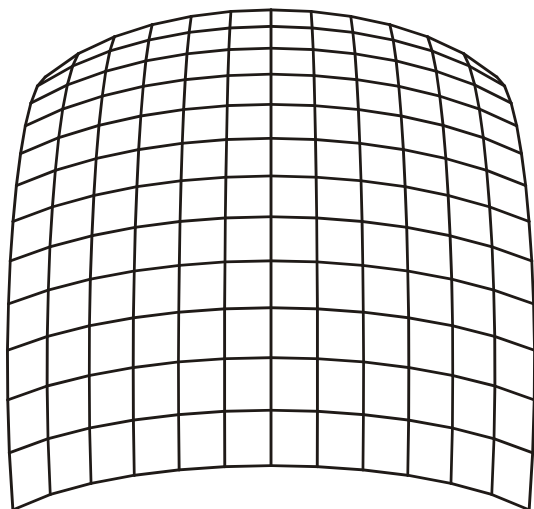
شکل ۱۲۷- گنبد گل ختمی فروخمیده



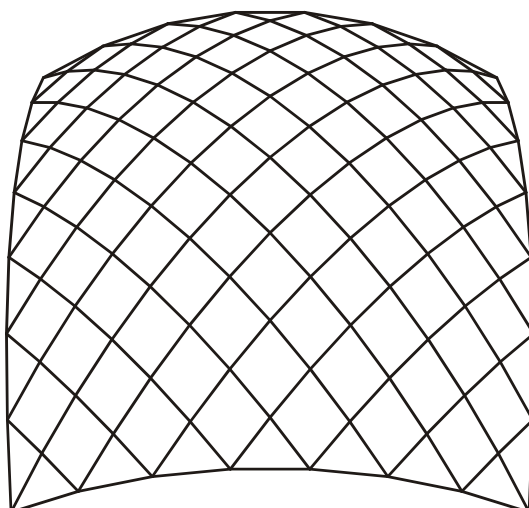
شکل ۱۲۸- گنبد گل ختمی فروخمیده



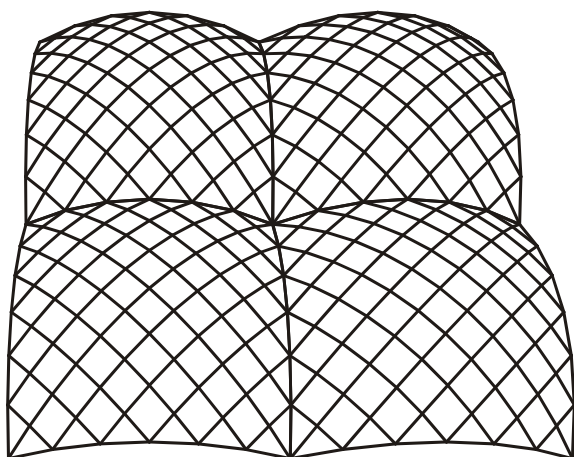
شکل ۱۲۹- گنبد گل ختمی فروخمیده



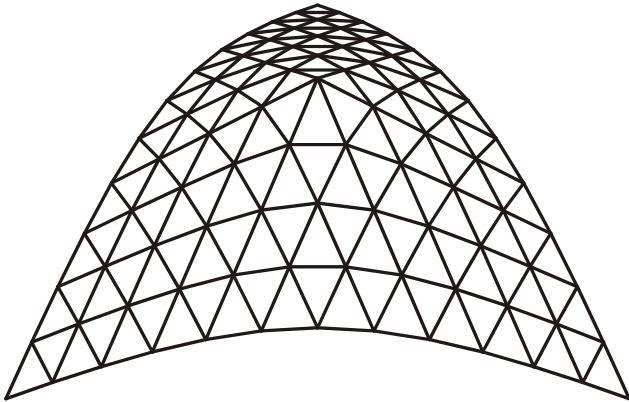
شکل ۱۳۰- گنبد فرازشی (کروی) با نقش دوراهه



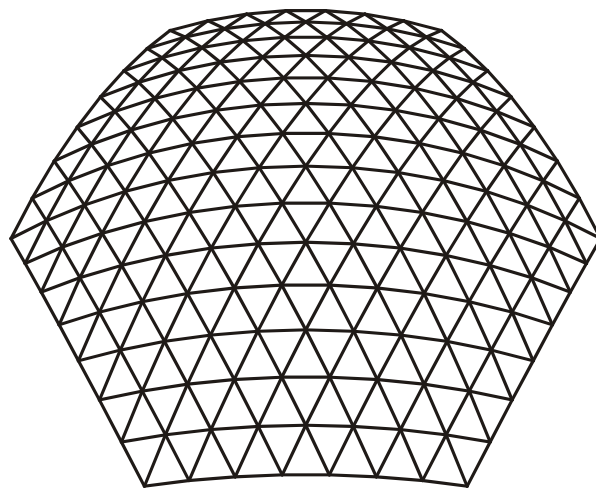
شکل ۱۳۱- گنبد فرازشی (سه‌موی) با نقش اریبی



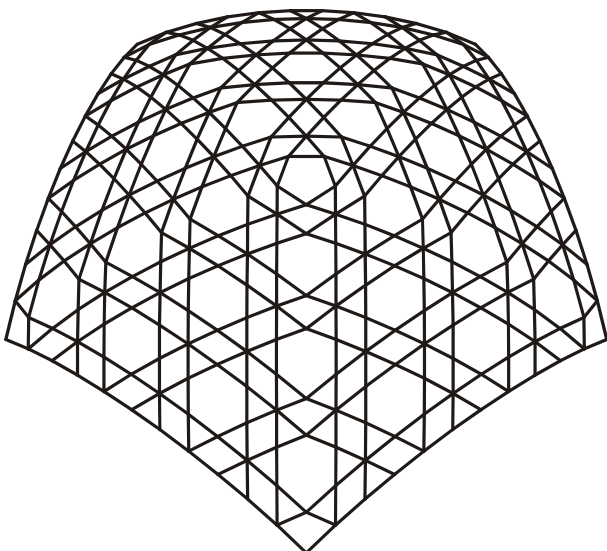
شکل ۱۳۲- گنبد مرکب فرازشی (سه‌موی) با نقش اریبی



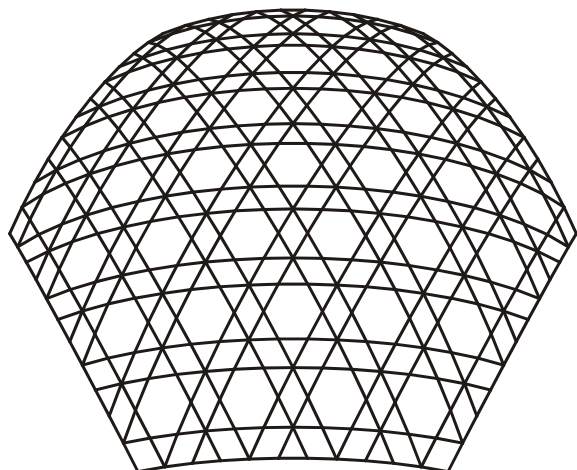
شکل ۱۳۳ - گنبد مثلثی فرازشی (مخروطی) با نقش سه‌راهه



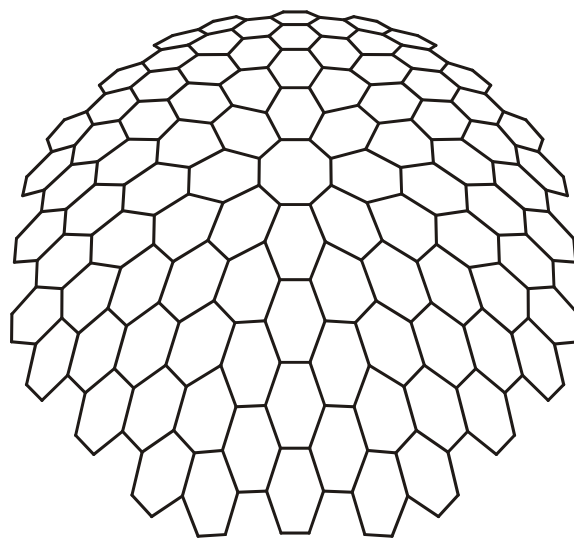
شکل ۱۳۴ - گنبد قاچی فرازشی (سه‌موی) با نقش سه‌راهه



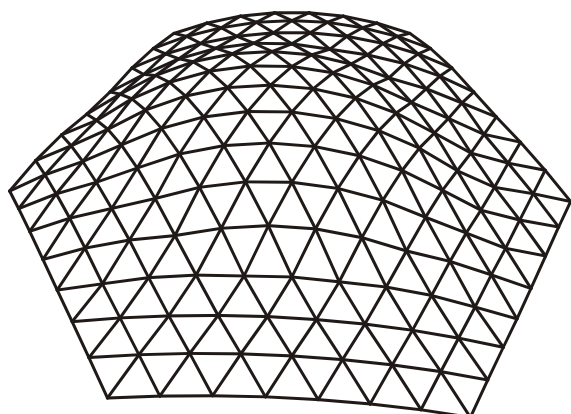
شکل ۱۳۵ - گنبد قاچی فرازشی (کروی) با نقش سه‌راهه/شش‌بری



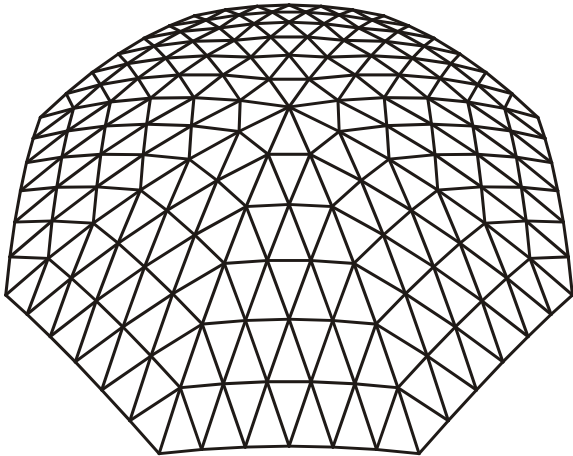
شکل ۱۳۶- گنبد قاچی فرازشی (کروی) با نقش سه راهه /شش بری



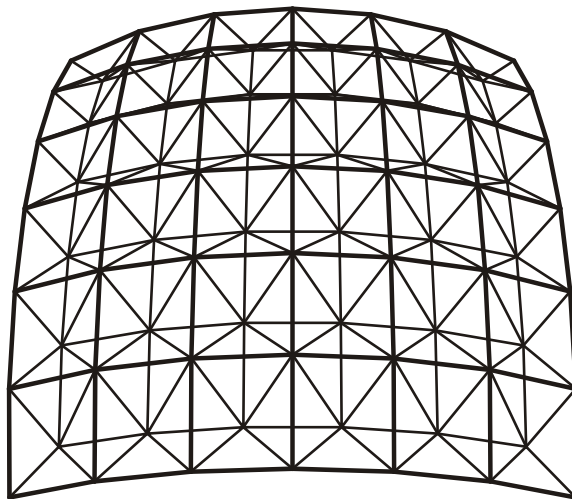
شکل ۱۳۷- گنبد قاچی فرازشی (سه‌موی) با نقش لانه‌زنبوری



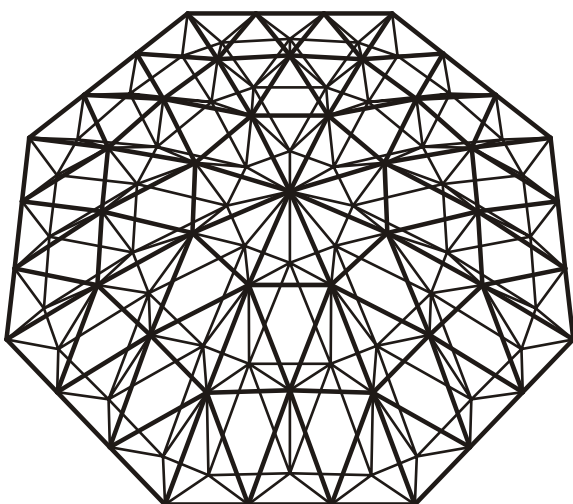
شکل ۱۳۸- گنبد قاچی فرازشی (ترکیب سه فرازش کروی) با نقش سه‌راهه



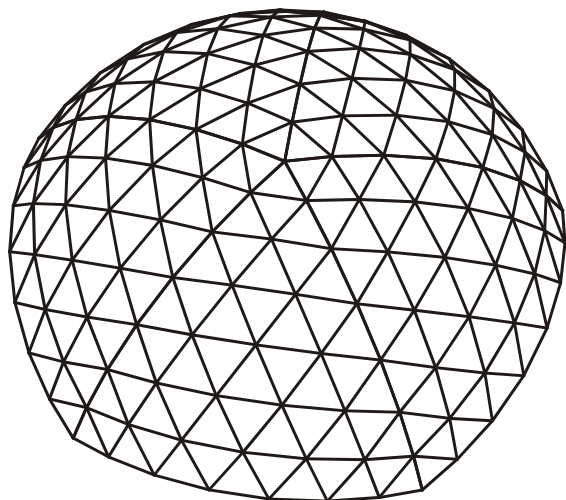
شکل ۱۳۹- گنبد قاچی فرازشی (ترکیب دو فرازش سه‌موی و مخروطی) با نقش سهرابه



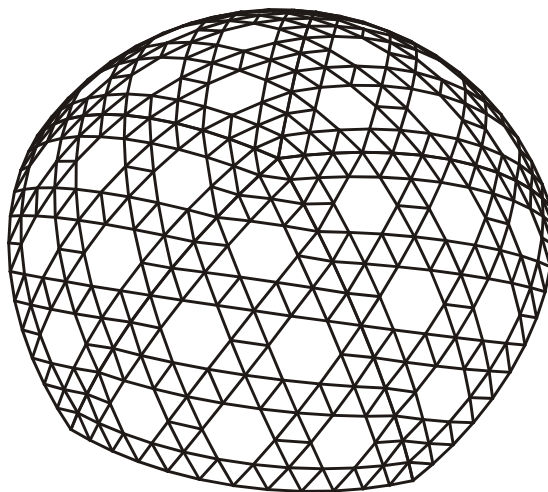
شکل ۱۴۰- گنبد دولایه فرازشی (کروی) با نقش دوراها روی دوراها



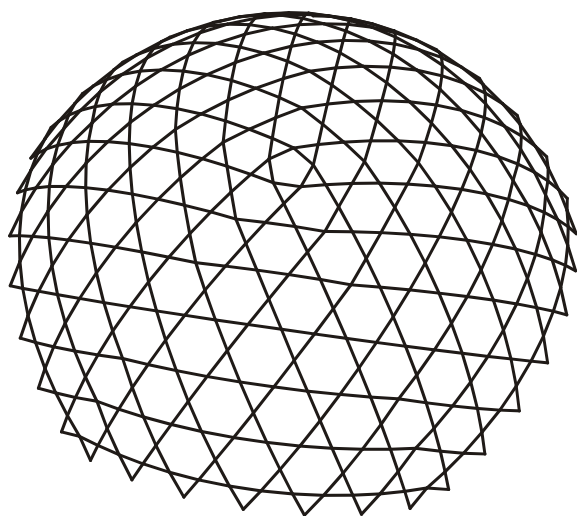
شکل ۱۴۱- گنبد قاچی دولایه فرازشی (سه‌موی) با نقش سهرابه روی سهرابه



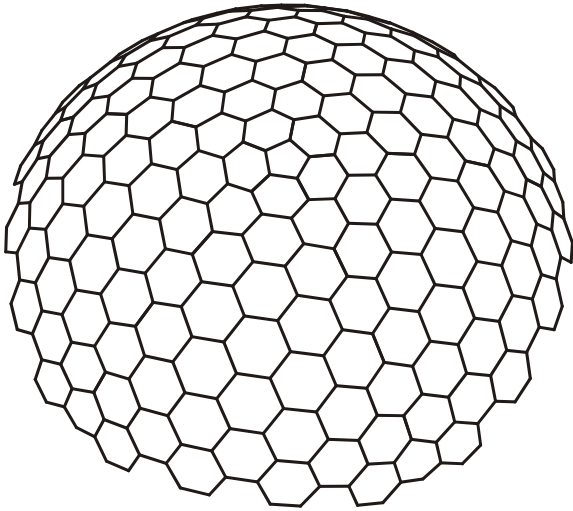
شکل ۱۴۲- گنبد ژئودزیک (بر مبنای ۵ رخ یک بیست رخی)



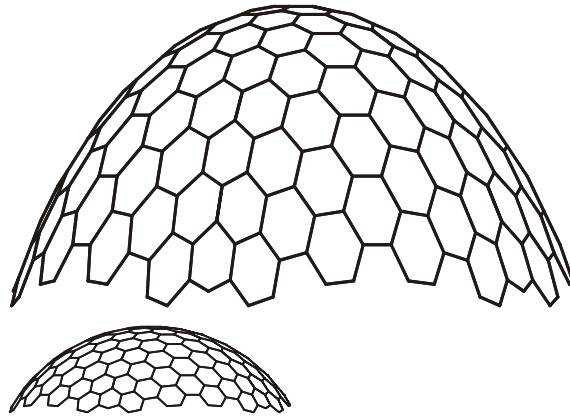
شکل ۱۴۳- گنبد ژئودزیک (بر مبنای ۵ رخ یک بیست رخی)



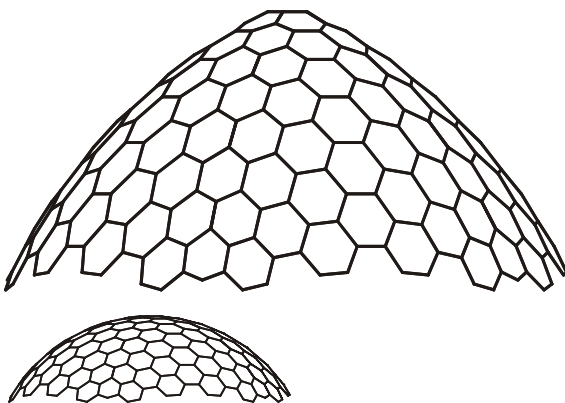
شکل ۱۴۴- گنبد ژئودزیک (بر مبنای ۵ رخ یک بیست رخی)



شکل ۱۴۵- گنبد ژئودزیک (بر مبنای ۵ رخ یک بیست رخی)

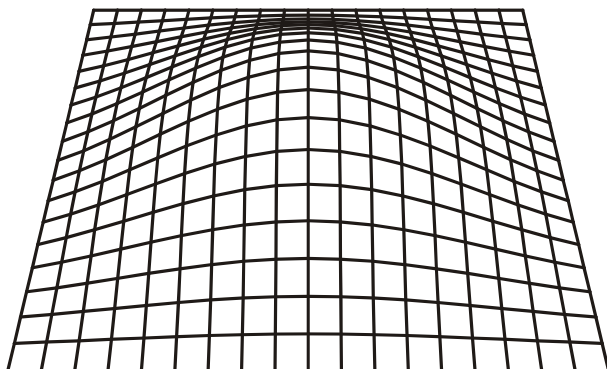


شکل ۱۴۶ (نمای جانبی) - گنبد ژئودزیک شکل ۱۴۵ که با مقیاس شدن در راستای قائم به حالت بیضوی درآمد است (صورت اولیه گنبد هم در زیرش نشان داده شده است)

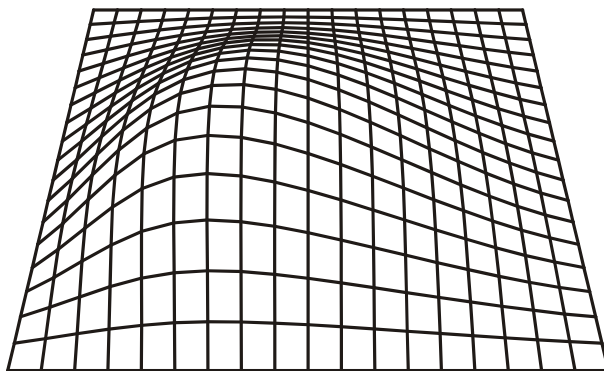


شکل ۱۴۷- (نمای جانبی)

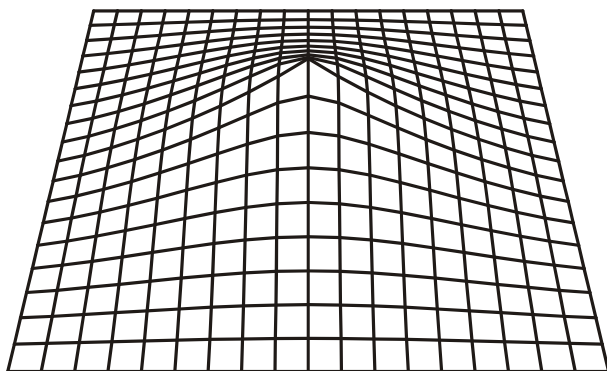
گنبد ژئودزیک شکل ۱۴۵ که با فرازش حالتی مخروطی به آن افزوده شده است (صورت اولیه گنبد هم در زیرش نشان داده شده است)



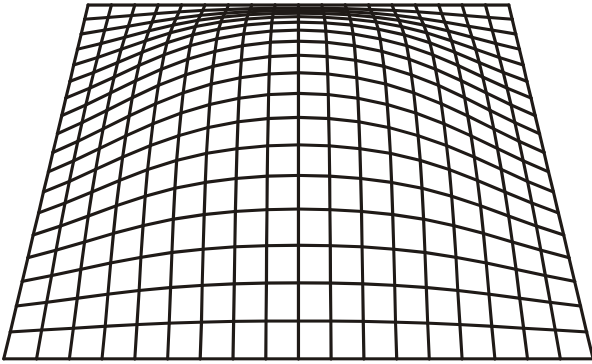
شکل ۱۴۸- گنبد نوانشی با نقش دوراوه و کناره‌های درجا نگهداشته
(حالت ۳ نوانش به کار رفته است)



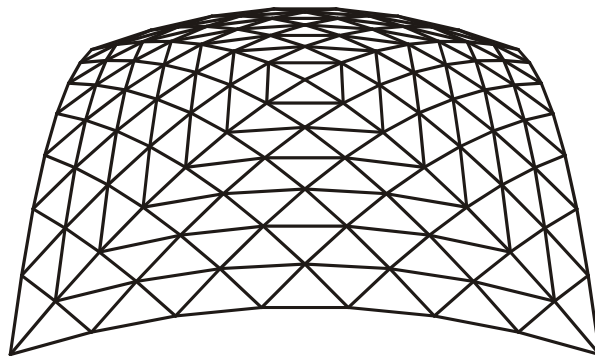
شکل ۱۴۹- گنبد نوانشی با نقش دوراوه و کناره‌های درجا نگهداشته
(حالت ۳ نوانش به کار رفته است)



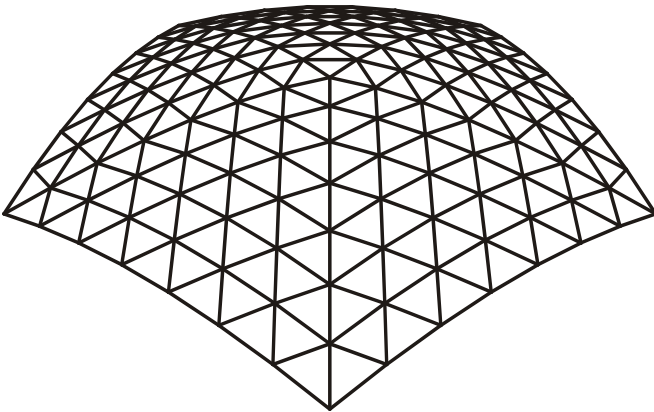
شکل ۱۵۰- گنبد نوانشی با نقش دوراوه و کناره‌های درجا نگهداشته
(حالت ۲ نوانش به کار رفته است)



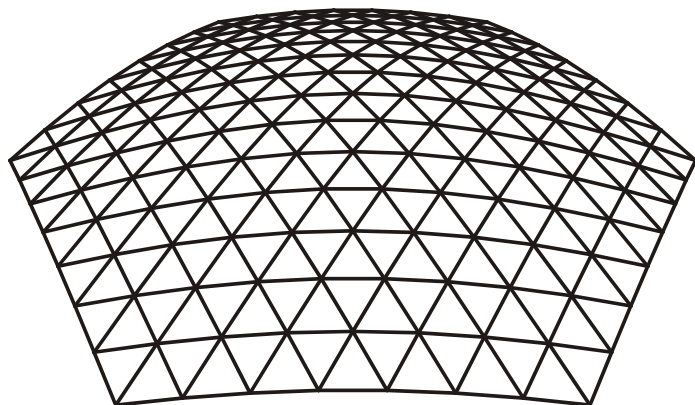
شکل ۱۵۱- گنبد نوانشی با نقش دوراوه و کناره‌های درجا نگهداشته
(حالت ۳ نوانش و چهار نقطه برآمده به کار رفته است)



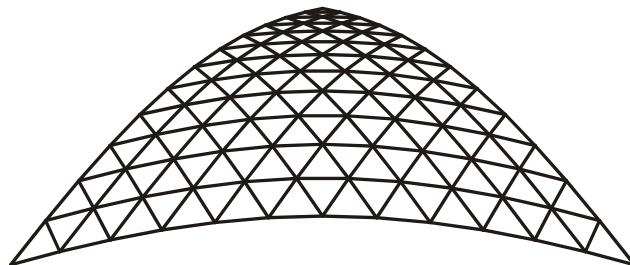
شکل ۱۵۲- گنبد قاچی نوانشی با نقش سه‌راهه و گوشه‌های درجا نگهداشته
(حالت ۳ نوانش و یک نقطه مرکزی برآمده به کار رفته است)



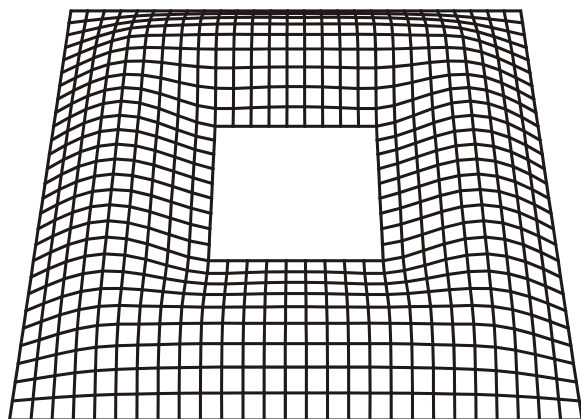
شکل ۱۵۳- گنبد قاچی نوانشی با نقش سه‌راهه و گوشه‌های درجا نگهداشته
(حالت ۳ نوانش و یک نقطه مرکزی برآمده به کار رفته است)



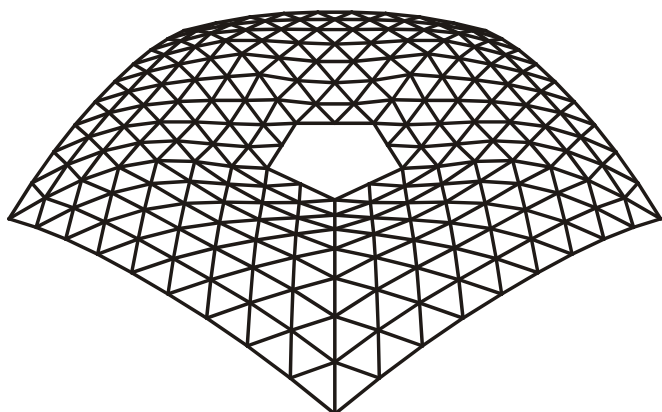
شکل ۱۵۴- گنبد قاچی نوانشی با نقش سه‌راهه و گوشه‌های درجا نگهداشته
(حالت ۳ نوانش و یک نقطه مرکزی برآمده به کار رفته است)



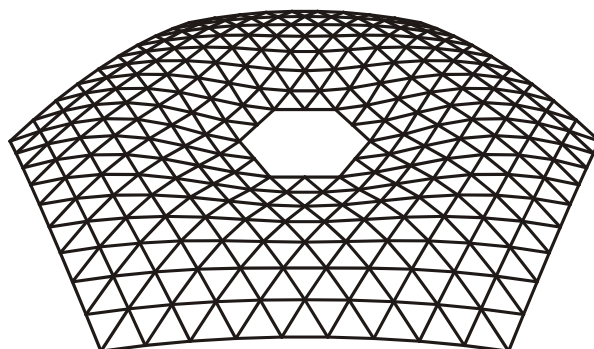
شکل ۱۵۵- گنبد نوانشی مثلثی با نقش سه‌راهه و گوشه‌های درجا نگهداشته
(حالت ۳ نوانش و یک نقطه مرکزی برآمده به کار رفته است)



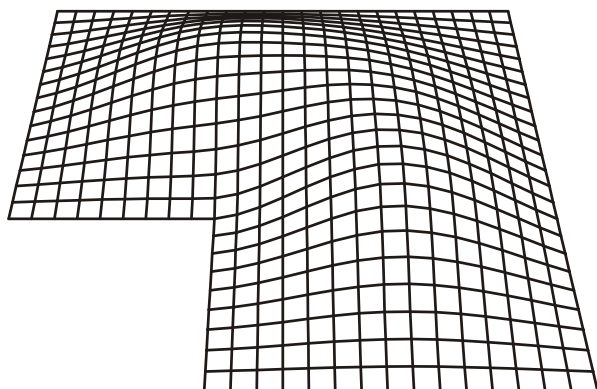
شکل ۱۵۶- گنبد نوانشی با قسمت خالی مرکزی و نقش دوراوه و با کناره‌های درجا نگهداشته
(حالت ۳ نوانش و چند نقطه برآمده به کار رفته است)



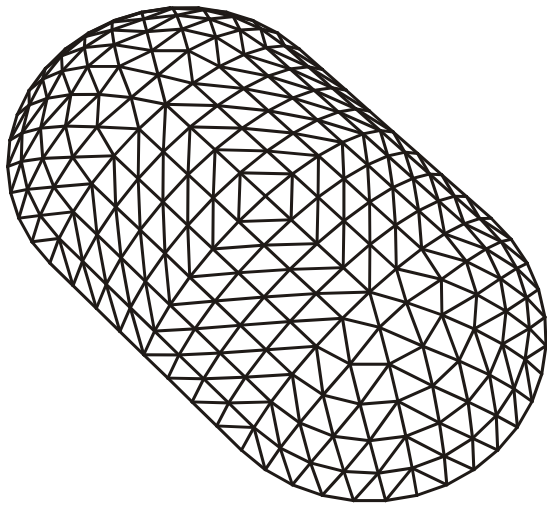
شکل ۱۵۷- گنبد قاچی نوانشی با قسمت خالی مرکزی و نقش سه راهه و با گوشه‌های درجا نگهداشته (حالت ۳ نوانش و چند نقطه برآمده به کار رفته است)



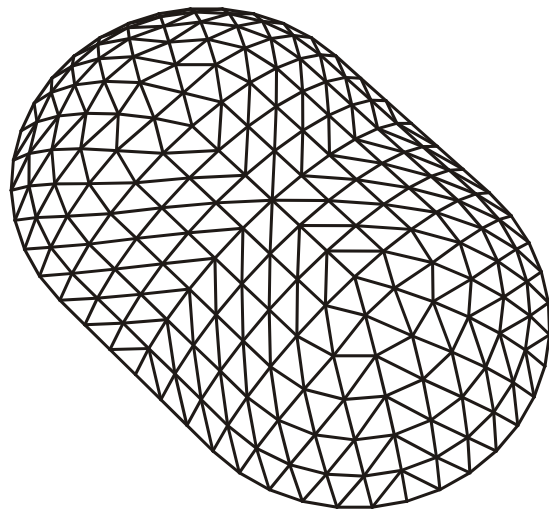
شکل ۱۵۸- گنبد قاچی نوانشی با قسمت خالی مرکزی و نقش سه راهه و با گوشه‌های درجا نگهداشته (حالت ۳ نوانش و چند نقطه برآمده به کار رفته است)



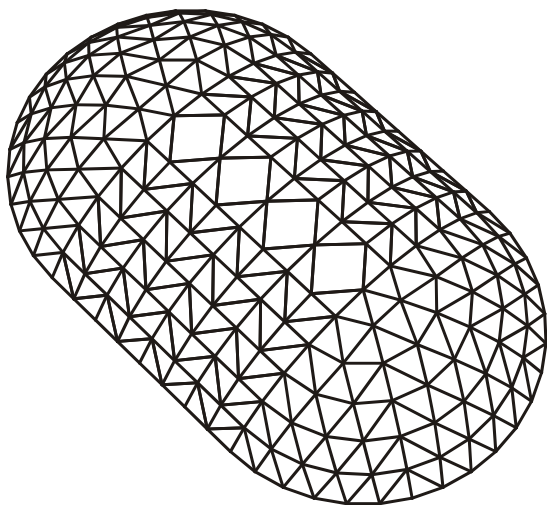
شکل ۱۵۹- گنبد نوانشی با نقش دوراهه و با کناره‌های درجا نگهداشته (حالت ۳ نوانش و چند نقطه برآمده به کار رفته است)



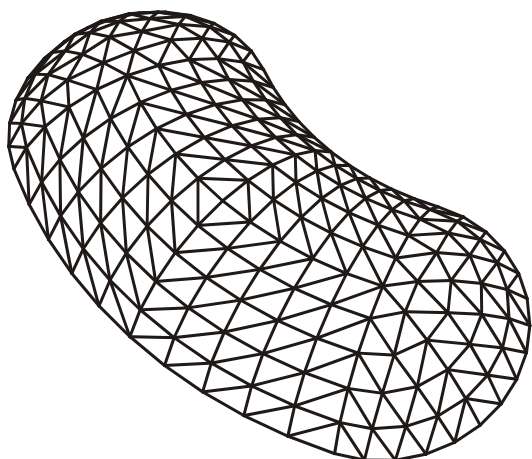
شکل ۱۶۰- چلیک-گنبد



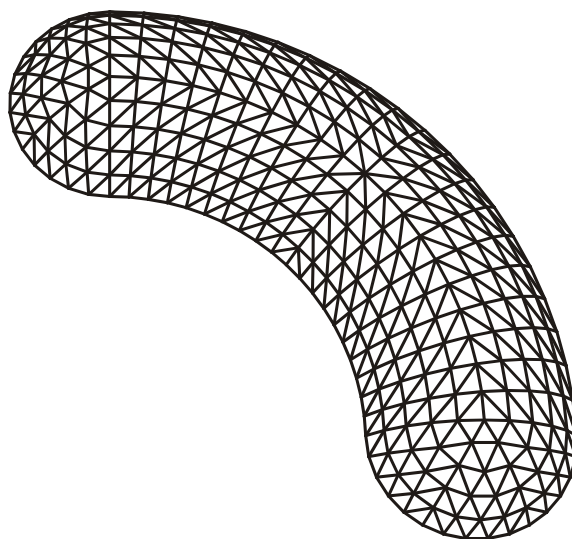
شکل ۱۶۱- چلیک-گنبد



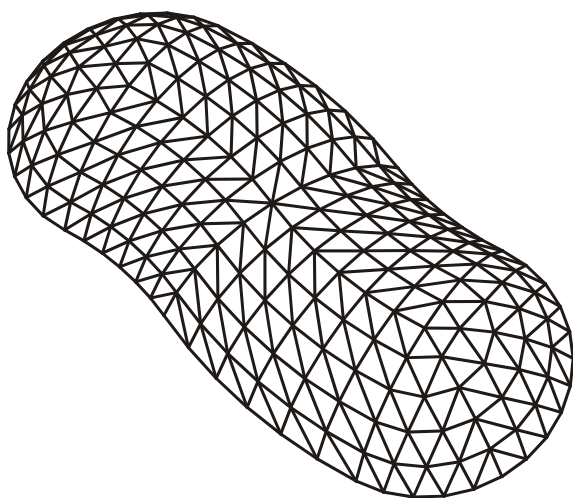
شکل ۱۶۲- چلیک-گنبد



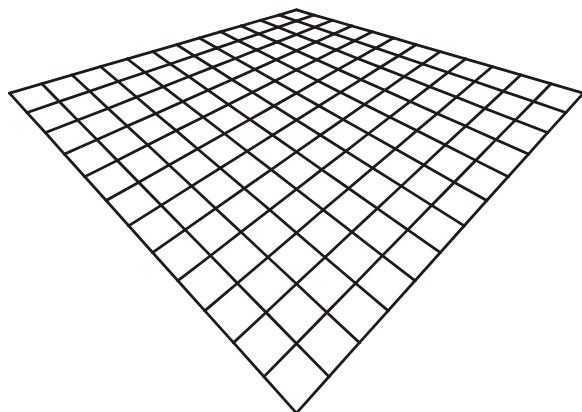
شکل ۱۶۳- چلیک- گنبد پهلوخمیده



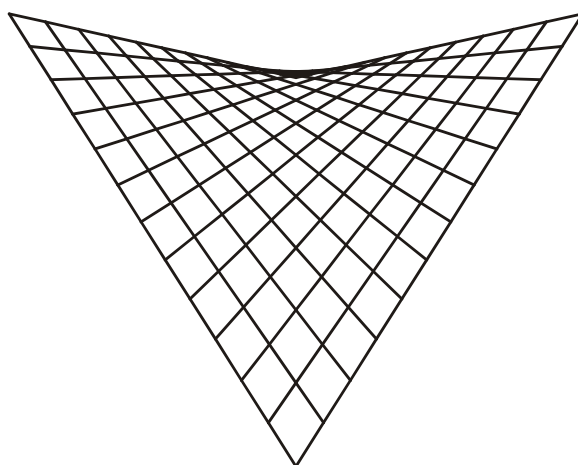
شکل ۱۶۴- چلیک- گنبد پهلوخمیده



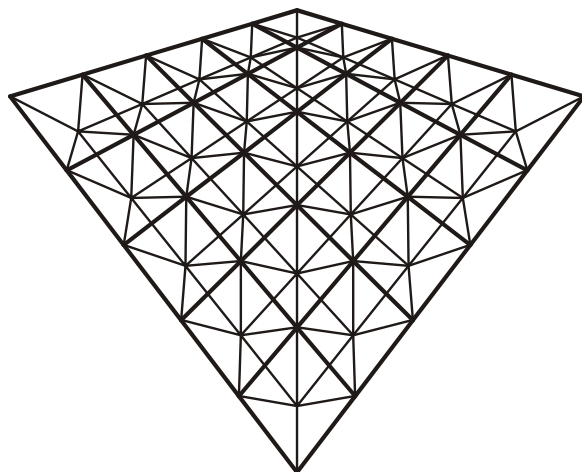
شکل ۱۶۵- چلیک- گنبد دوخم



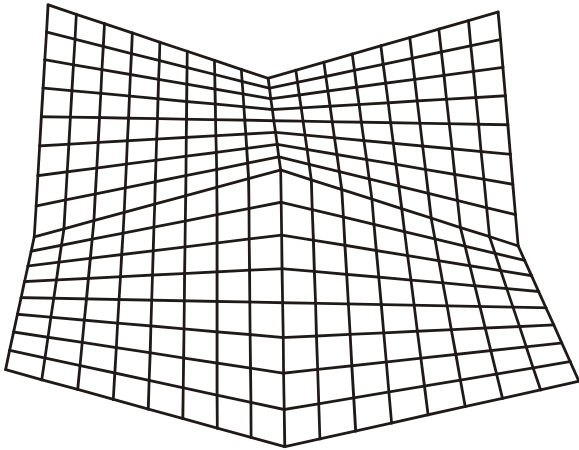
شکل ۱۶۶- سهلوی با تاب ملایم
(واژه سهلوی فشرده «سهمی گون هندلولوی» است)



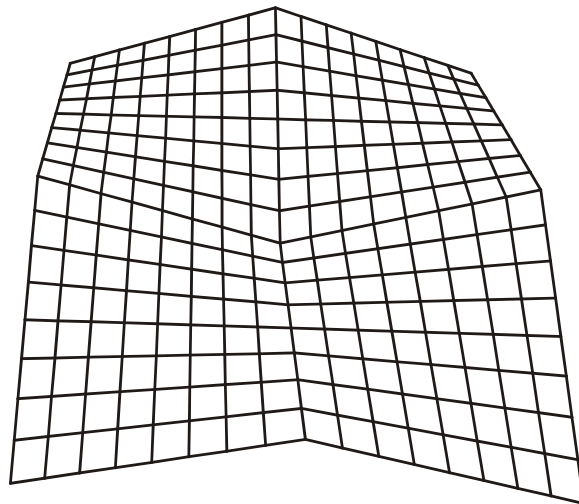
شکل ۱۶۷- سهلوی با تاب شدید



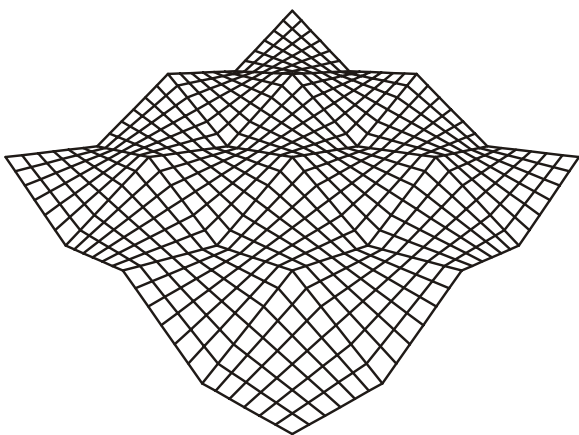
شکل ۱۶۸- سهلوی دولایه



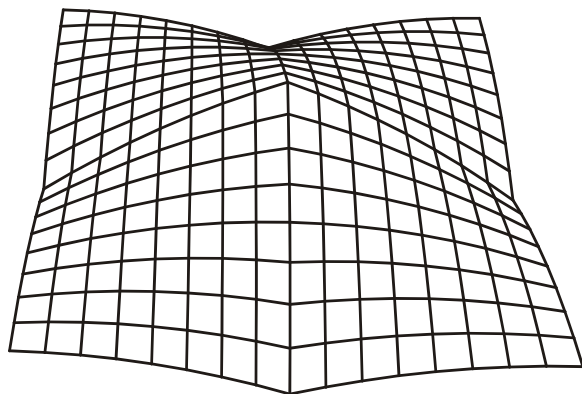
شکل ۱۶۹ - سهلوی مرکب (چهارتایی کوژ)



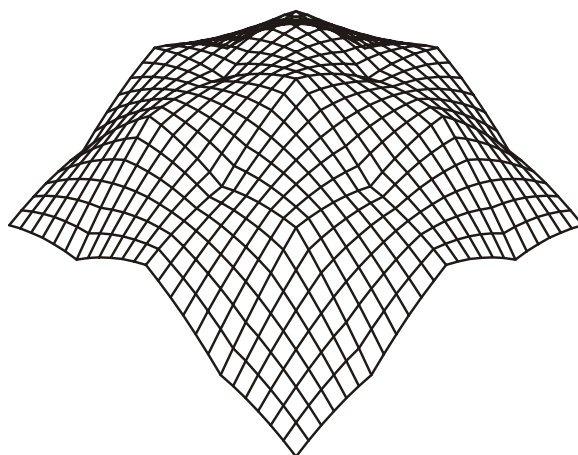
شکل ۱۷۰ - سهلوی مرکب (چهارتایی کاو)



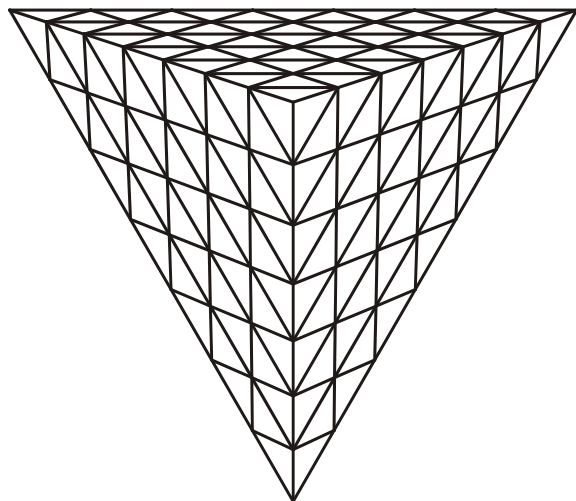
شکل ۱۷۱ - سهلوی مرکب



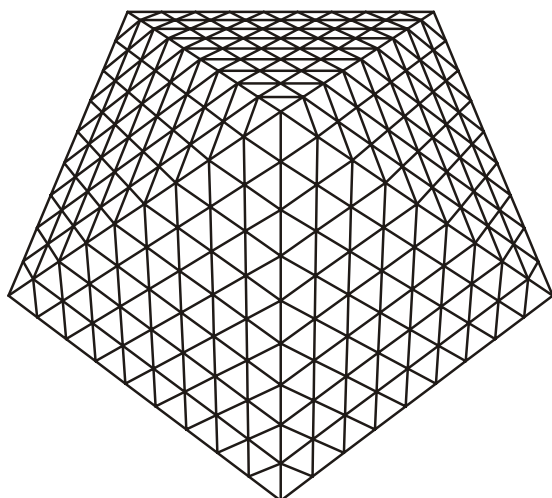
شکل ۱۷۲- شکل ۱۶۹ که یک حالت سهموی با فرازش به آن افزوده شده است



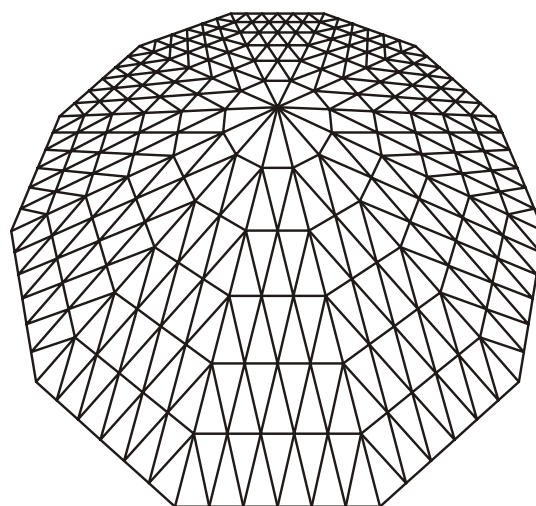
شکل ۱۷۳- همان شکل ۱۷۱ که یک حالت سهموی با فرازش به آن افزوده شده است



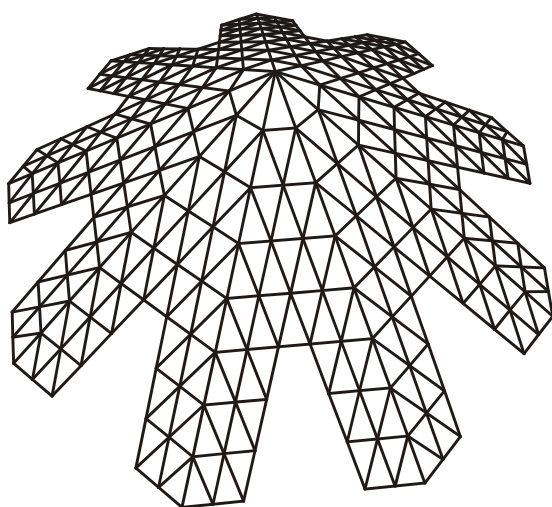
شکل ۱۷۴- هرم با قاعده مثلثی



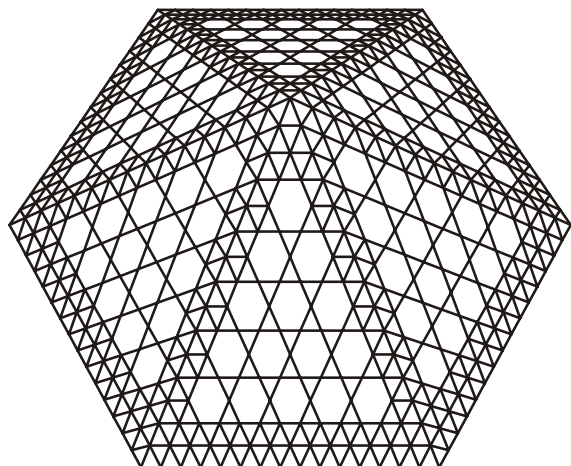
شکل ۱۷۵ - هرم با قاعده پنج بری



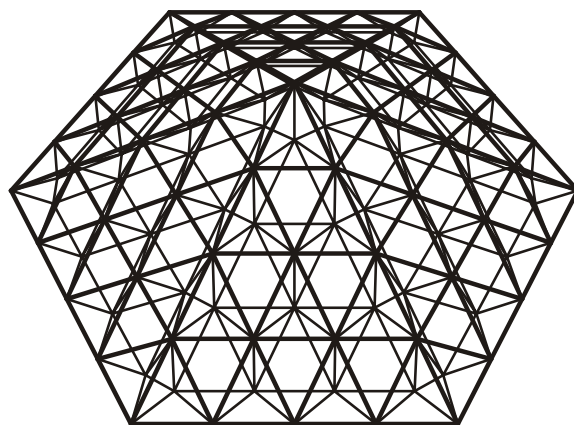
شکل ۱۷۶ - هرم با قاعده دوازده بری



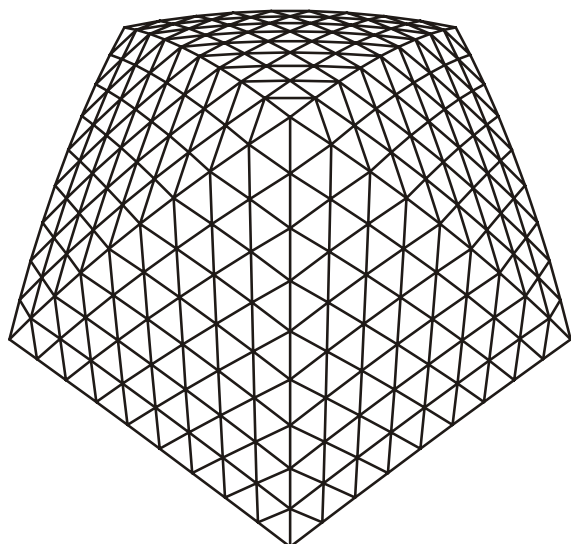
شکل ۱۷۷ - هرم با قاعده نه بری و هموندهای حذف شده



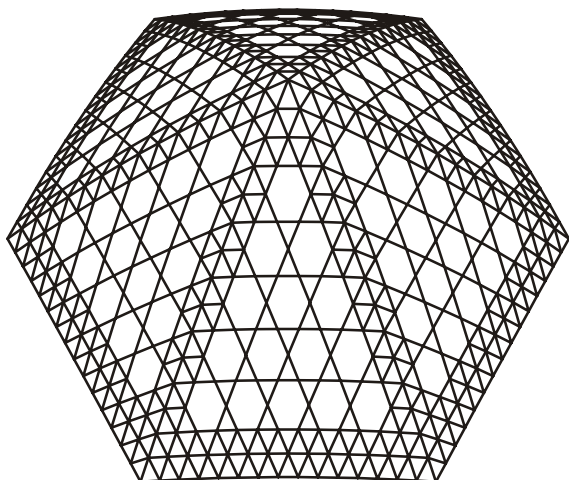
شکل ۱۷۸- هرم با قاعده شش بری و هموندهای حذف شده



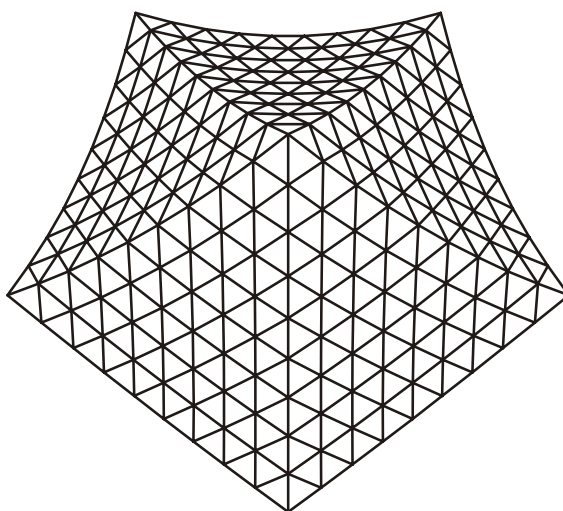
شکل ۱۷۹- هرم دولایه با قاعده شش بری



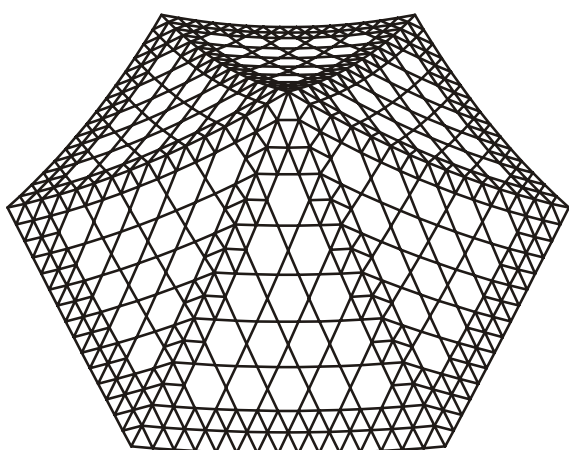
شکل ۱۸۰- شکل ۱۷۵ که یک حالت سهموی با فرازش به آن افزوده شده است



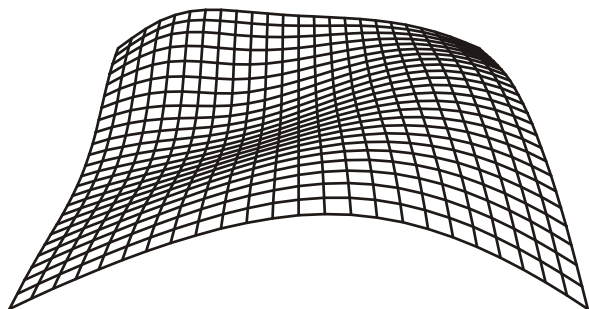
شکل ۱۸۱- شکل ۱۷۸ که یک حالت سهموی با فرازش به آن افزوده شده است



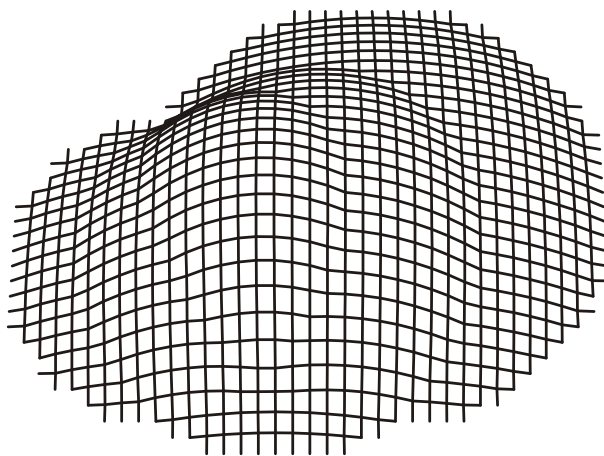
شکل ۱۸۲- شکل ۱۷۵ که یک حالت سهموی با فرازش از آن کم شده است



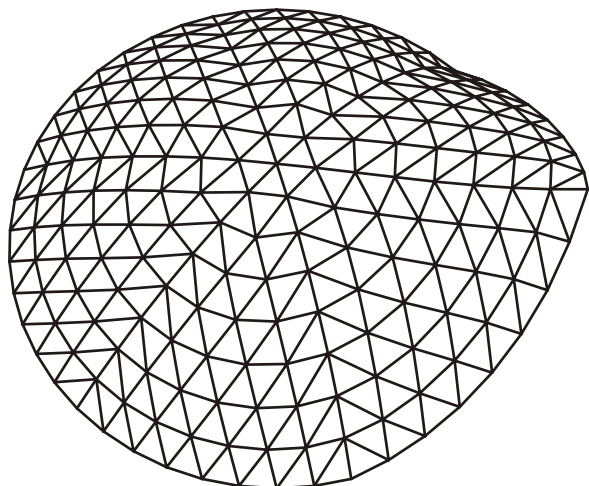
شکل ۱۸۳- شکل ۱۷۸ که یک حالت سهموی با فرازش از آن کم شده است



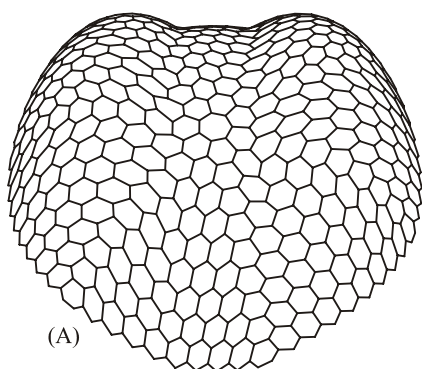
شکل ۱۸۴- شکل آزاد: شبکه تک لایه نوانیده با نقش دوراهه و با گوشه‌های درجا نگهداشته
(نمایش حالت ۳ به کار رفته است)



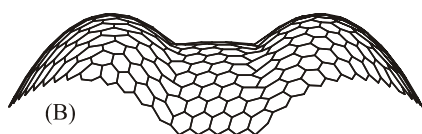
شکل ۱۸۵- شکل آزاد: شبکه تک‌لایه فزاززیده با نقش دوراهه
(۳ فرایش سهموی به کار رفته است)



شکل ۱۸۶- شکل آزاد: گنبد دیامتیک نوانیده با دوسوم گره‌های پیرامونی درجا نگهداشته
(نمایش حالت ۲ به کار رفته است)



(A)



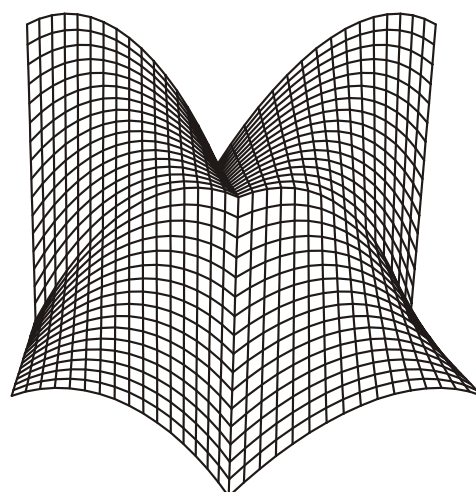
(B)

شکل ۱۸۷- شکل آزاد: گنبد دیامتیک فرازیده (۲فرازش)

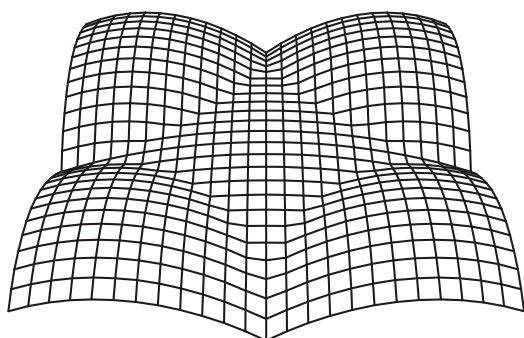
استوانه‌ای با مقطع سهمی به کار رفته‌اند

(A) : دیدسه بعدی

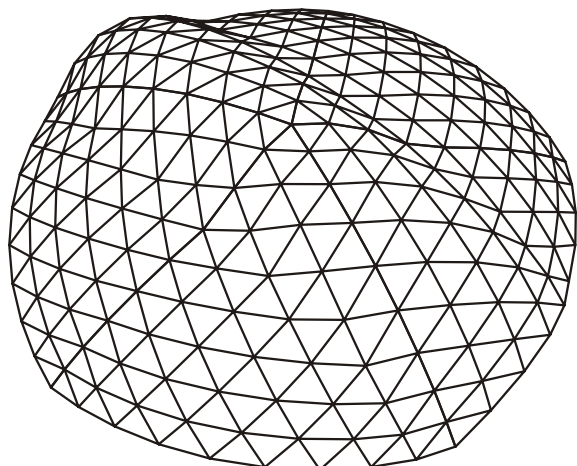
(B) : دید جانبی



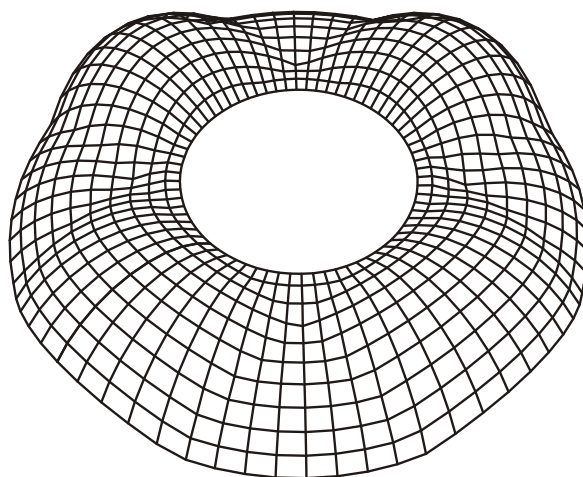
شکل ۱۸۸- شکل آزاد: سهلوی مرکب فرازیده
(۲فرازش استوانه‌ای با مقطع سهمی به کار رفته‌اند)



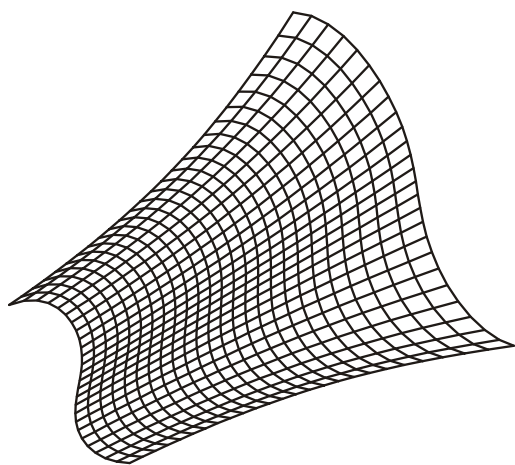
شکل ۱۸۹- شکل آزاد: شبکه‌دوره فرازیده
(۴فرازش سهموی و یک فرازش کروی به کار رفته‌اند)



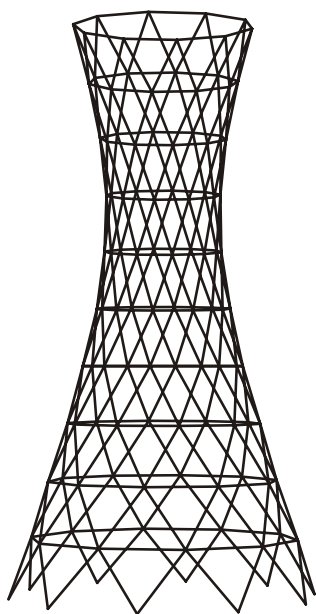
شکل ۱۹۰- شکل آزاد: گنبد پخ‌شده ژئودزیک فرازیده
(یک فرازش استوانه‌ای با مقطع سهمی به کار رفته است)



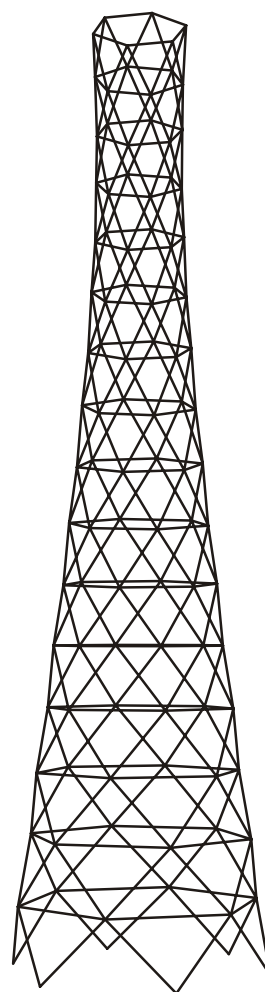
شکل ۱۹۱- شکل آزاد: چلیک حلقوی فرازیده
(۲ فرازش استوانه‌ای با مقطع سهمی به کار رفته‌اند)



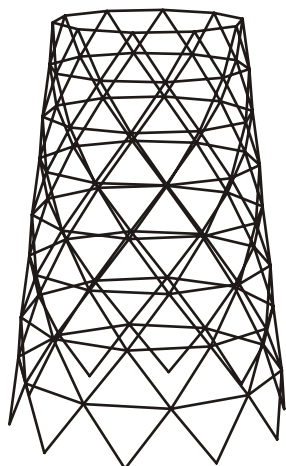
شکل ۱۹۲- شکل آزاد: سازه شبکه‌ای پارازنیک



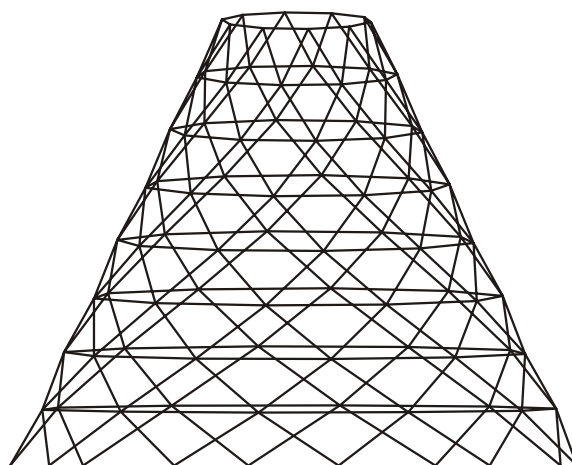
شکل ۱۹۳- برج شبکه‌ای هندلویی



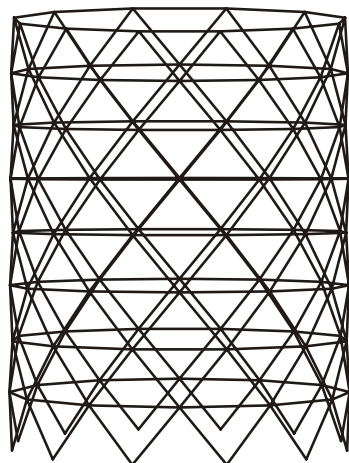
شکل ۱۹۴- برج شبکه‌ای هندلویی



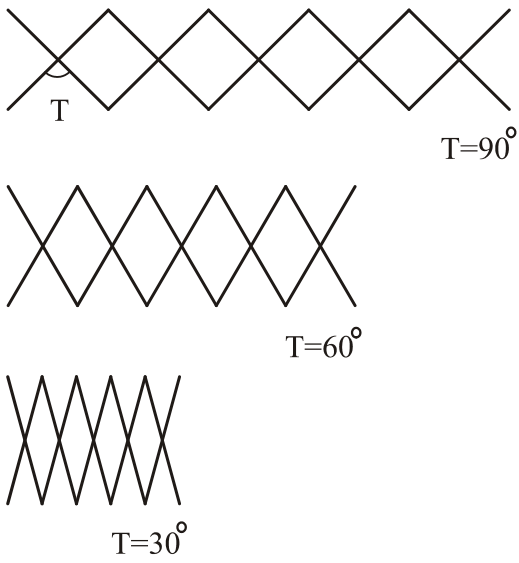
شکل ۱۹۵- برج شبکه‌ای مخروطی



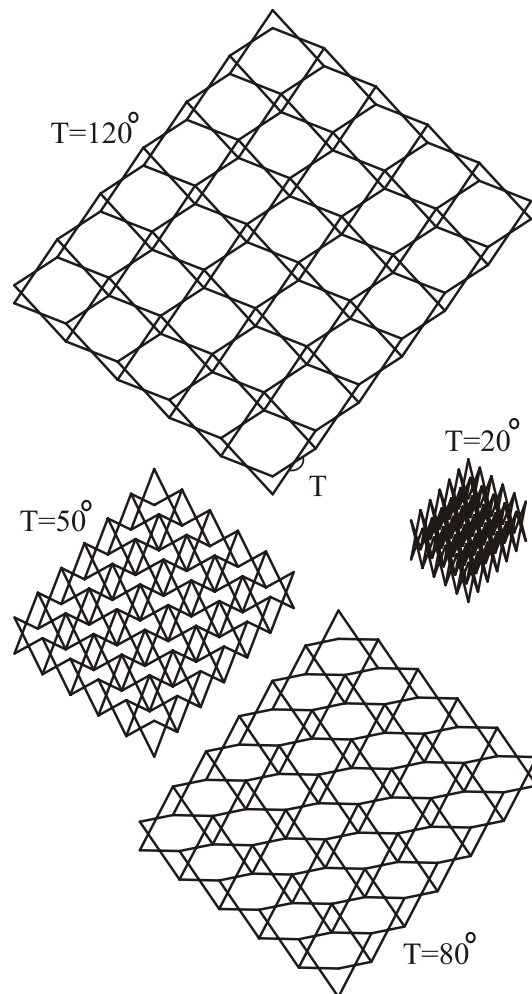
شکل ۱۹۶- برج شبکه‌ای مخروطی



شکل ۱۹۷- برج شبکه‌ای استوانه‌ای



شکل ۱۹۸- یک سیستم ساده تاشو متشکل از پنج دولایه (سه حالت بازشدگی سیستم نشان داده شده است)



شکل ۱۹۹- شبکه دولایه تاشو (چهار حالت بازشدگی سازه نشان داده شده است)

پیوست ۱-ب

برنامه‌های فرمینی برای تاشه‌های پیوست ۱-الف

پیوست ۱ - ب - برنامه‌های فرمینی برای تاشه‌های پیوست ۱ - الف

برنامه^۱ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 1: Single layer grid with
binate pattern. See Reference 1. (*)
L1=25;  (*) Length in U1 direction (*)
L2=25;  (*) Length in U2 direction (*)
m=10;   (*) Frequency in U1 direction (*)
n=10;   (*) Frequency in U2 direction (*)
E=rinid(m,n+1,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
  rinid(m+1,n,1,1)|[0,0,0; 0,1,0];
Grid=bb(L1/m,L2/n)|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه^۲ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۲

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 2: Single layer grid with
obnate pattern. See Reference 1. (*)
L1=25;  (*) Length in U1 direction (*)
L2=25;  (*) Length in U2 direction (*)
m=6;    (*) Frequency of crosses
          in U1 direction (*)
n=6;    (*) Frequency of crosses
          in U2 direction (*)
E=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,0]#
  rinid(m,2,2,2*n)|[0,0,0; 2,0,0]#
  rinid(2,n,2*m,2)|[0,0,0; 0,2,0];
Grid=bb(L1/(2*m),L2/(2*n))|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۳

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 3: Single layer grid with
binate pattern and additional diagonal
elements. See Reference 1. (*)
L1=25;  (*) Length in U1 direction (*)
L2=25;  (*) Length in U2 direction (*)
m=10;   (*) Frequency in U1 direction,
          m must be even (*)
n=10;   (*) Frequency in U2 direction (*)
E=rinid(m,n+1,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
  rinid(m+1,n,1,1)|[0,0,0; 0,1,0]#
  rinid(m/2,n,2,1)|lam(1,1)|[0,1,0; 1,0,0];
Grid=bb(L1/m,L2/n)|E;
use & ,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۴

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 4: Single layer grid with
binate pattern and additional diagonal
elements. See Reference 1. (*)
L1=25;  (*) Length in U1 direction (*)
L2=25;  (*) Length in U2 direction (*)
m=10;   (*) Frequency in U1 direction,
          m must be even (*)
n=10;   (*) Frequency in U2 direction,
          n must be even (*)
E=rinid(m,n+1,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
  rinid(m+1,n,1,1)|[0,0,0; 0,1,0]#
  lam(2,n/2)|rinid(m/2,n/2,2,1)|lam(1,1)|
  [0,1,0; 1,0,0];
Grid=bb(L1/m,L2/n)|E;
use & ,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه^۵ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۵

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 5: Single layer grid with
binate pattern and additional diagonal
elements. See Reference 1. (*)
L1=25; (*) Length in U1 direction (*)
L2=25; (*) Length in U2 direction (*)
m=10; (*) Frequency in U1 direction,
          m must be even (*)
n=10; (*) Frequency in U2 direction,
          n must be even (*)
E=rinid(m,n+1,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
  rinid(m+1,n,1,1)|[0,0,0; 0,1,0]#
  lamid(m/2,n/2)|rinid(m/2,n/2,1,1)|
  [0,1,0; 1,0,0];
Grid=bb(L1/m,L2/n)E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه^۶ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۶

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 6: Single layer grid with
obnate pattern and additional diagonal
elements. See Reference 1. (*)
L1=25; (*) Length in U1 direction (*)
L2=25; (*) Length in U2 direction (*)
m=6; (*) Frequency of crosses
          in U1 direction (*)
n=6; (*) Frequency of crosses
          in U2 direction (*)
E=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,0]#
  rinid(m,n+1,2,2)|[0,0,0; 2,0,0]#
  rinid(2,n,2*m,2)|[0,0,0; 0,2,0];
Grid=bb(L1/(2*m),L2/(2*n))E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```


برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۷

```
(*) Formian scheme for configurations
  similar to Fig 7: Single layer grid with
  ternate pattern. See Reference 1. (*)
L1=25;  (*) Length in U1 direction (*)
L2=25;  (*) Length in U2 direction (*)
m=6;    (*) Frequency of crosses
          in U1 direction (*)
n=6;    (*) Frequency of crosses
          in U2 direction (*)
E=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,0]#
  rinid(2*m,2,1,2*n)|[0,0,0; 1,0,0]#
  rinid(m+1,n,2,2)|[0,0,0; 0,2,0]#
  rinid(m,n-1,2,2)|[1,1,0; 1,3,0]#
  rinid(m,2,2,2*n-1)|[1,0,0; 1,1,0];
Grid=bb(L1/(2*m),L2/(2*n))|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۸

```
(*) Formian scheme for configurations
  similar to Fig 8: Single layer grid with
  ternate pattern. See Reference 1. (*)
L1=25;  (*) Length in U1 direction (*)
L2=25;  (*) Length in U2 direction (*)
m=8;    (*) Frequency in U1 direction (*)
n=8;    (*) Frequency in U2 direction (*)
E=rinid(m,n+1,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
  rinid(m+1,n,1,1)|[0,0,0; 0,1,0]#
  rinid(m,n,1,1)|[0,1,0; 1,0,0];
Grid=bb(L1/m,L2/n)|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه^۹ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۹

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 9: Single layer grid with
ternate pattern. See Reference 1. (*)
L1=24;  (*) Length in U1 direction (*)
L2=21;  (*) Length in U2 direction (*)
m=8;    (*) Frequency in U1 direction (*)
n=8;    (*) Frequency in U2 direction,
          n must be even (*)
E=rinid(m,n/2,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,0]#
rinid(m,1+n/2,2,2)|[0,0,0; 2,0,0]#
rinid(m-1,n/2,2,2)|[1,1,0; 3,1,0]#
rinid(2,n/2,2*m,2)|[0,0,0; 0,2,0]#
rinid(2,n,2*m,1)|[0,0,0; 0,1,0]#
rinid(2,n/2,2*m-1,2)|[0,1,0; 1,1,0];
Grid=bb(L1/(2*m),L2/n)|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه^{۱۰} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۰

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 10: Single layer grid with
ternate pattern and hexagonal openings.
See Reference 1. (*)
L1=36;  (*) Length in U1 direction (*)
L2=36;  (*) Length in U2 direction (*)
m=16;   (*) Frequency in U1 direction,
          m must be a multiple of 3 plus 1 (*)
n=16;   (*) Frequency in U2 direction,
          n must be a multiple of 4 (*)
mm=ric|((m-1)/3); nn=ric|(N/4);
E=rinid(m,n/2,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,0]#
rinid(m,1+n/2,2,2)|[0,0,0; 2,0,0]#
rinid(m-1,n/2,2,2)|[1,1,0; 3,1,0]#
rinid(2,n,2*m,1)|[0,0,0; 0,1,0]#
rinid(2,n/2,2*m-1,2)|[0,1,0; 1,1,0];
RN=rinid(mm,nn,6,4)|[4,2,0];
Grid=bb(L1/(2*m),L2/n)|lux(RN)|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۱

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 11: Single layer grid with ternate pattern and hexagonal openings.
See Reference 1. (*)
L1=36; (*) Length in U1 direction (*)
L2=36; (*) Length in U2 direction (*)
m=16; (*) Frequency in U1 direction, m must be a multiple of 3 plus 1 (*)
n=16; (*) Frequency in U2 direction, n must be a multiple of 6 plus 4 (*)
mm=ric((m-1)/3); nn=ric(N/4);
E=rinid(m,n/2,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,0]#
rinid(m,1+n/2,2,2)|[0,0,0; 2,0,0]#
rinid(m-1,n/2,2,2)|[1,1,0; 3,1,0]#
rinid(2,n,2*m,1)|[0,0,0; 0,1,0]#
rinid(2,n/2,2*m-1,2)|[0,1,0; 1,1,0];
RN=rinid(mm,nn,6,6)|[4,2,0]#
rinid(mm-1,nn-1,6,6)|[7,5,0];
Grid=bb(L1/(2*m),L2/n)|lux(RN)|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۲

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 12: Single layer grid with ternate pattern and triangular boundary.
See Reference 1. (*)
L=24; (*) Length of each side of the grid (*)
m=9; (*) Frequency (*)
Grid=bb(L/(2*m),L*(sqrt(3))/(2*m))|
genid(m,m,2,1,1,-1)|{[0,0,0; 2,0,0],
[1,1,0; 0,0,0], [1,1,0; 2,0,0]};
use &,vm(2),vt(2),vh(L/2,-L,3*L,
L/2,L/2,0, L/2,L/2,1);
clear; draw Grid;

برنامه^۹ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۱۳ و ۱۴

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Figs 13 (n=3) and 14 (n=4):
Single layer grid with ternate pattern
and triangular boundary with cut
corners. See Reference 1. (*)
L=30; (*) Length of each side of
the original triangular grid (*)
m=12; (*) Frequency of the
original triangular grid (*)
n=3; (*) Size of corner cuts (*)
E=genid(m,m,2,1,1,-1){[0,0,0; 2,0,0],
[1,1,0; 0,0,0], [1,1,0; 2,0,0]};
RN=lam(1,m)|genid(n,n,2,1,1,-1)[0,0,0]#
genid(1,n,2,-1,-1,1)[m,m,0];
Grid=bb(L/(2*m),L*(sqrt(3)/(2*m))|
lux(RN)E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L/2,-L,3*L,
L/2,L/2,0, L/2,L/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه^{۱۵} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۵

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 15: Single layer grid with
ternate/hexagonal pattern and triangular
boundary. See Reference 1. (*)
L=36; (*) Length of each side of the grid (*)
m=17; (*) Frequency, m must be odd (*)
p=ric((m-1)/2);
E=genid(m,m,2,1,1,-1){[0,0,0; 2,0,0],
[1,1,0; 0,0,0], [1,1,0; 2,0,0]};
RN=genid(p,p,4,2,2,-1)[3,1,0];
Grid=bb(L/(2*m),L*(sqrt(3)/(2*m))|
lux(RN)E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L/2,-L,3*L,
L/2,L/2,0, L/2,L/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۱۶ و ۱۷

(*) Formian scheme for configurations similar to Figs 16 (n=5) and 17 (n=7):
 Single layer grid with ternate/hexagonal pattern and triangular boundary with cut corners. See Reference 1. (*)
 L=40; (*) Length of each side of the original triangular grid (*)
 m=21; (*) Frequency of the original triangular grid, m must be odd (*)
 n=5; (*) Size of corner cuts, n must be odd (*)
 p=ric((m-1)/2);
 E=genid(m,m,2,1,1,-1){[0,0,0; 2,0,0], [1,1,0; 0,0,0], [1,1,0; 2,0,0]};
 RN=genid(p,p,4,2,2,-1)[3,1,0]# lam(1,m)genid(n,n,2,1,1,-1)[0,0,0]# genid(1,n,2,-1,-1,1)[m,m,0];
 Grid=bb(L/(2*m),L*(sqrt(3)/(2*m))| lux(RN)|E;
 use & ,vm(2),vt(2),vh(L/2,-L,3*L, L/2,L/2,0, L/2,L/2,1);
 clear; draw Grid;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۱۸، ۱۹ و ۲۰

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 18 (m=6, n=5), Fig 19 (m=5, n=8) and Fig 20 (m=4, n=11):
 Sectorate single layer grid with ternate (*) pattern. See Reference 1
 L=20; (*) Length of each side of the grid (*)
 m=6; (*) Frequency (*)
 n=5; (*) Number of sides (*)
 E=bb(L/(2*m),L/(2*m*tan|(180/n))| genid(1,m,2,1,-1,1){[0,0,0; -1,1,0], [0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};
 Grid=pex|rosad(0,0,n,360/n)|E;
 use & ,vm(2),vt(2),vh(0,-2*L,5*L, 0,0,0, 0,0,1);
 clear; draw Grid;

برنامه^{۲۱} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۲۱، ۲۲ و ۲۳

(*) Formian scheme for configurations

3, n=5), 22\ similar to Fig 21 (m=

(m=11, n=7) and Fig 23 (m=10, n=7):

Sectorate single layer grid with ternate/hexagonal pattern.

(*). See Reference 1

L=20; (*) Length of each side of the grid (*)

m=13; (*) Frequency of the

original ternate grid (*)

n=5; (*) Number of sides (*)

E=genid(1,m,2,1,-1,1){[0,0,0; -1,1,0],

[0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};

RN=genid(1,ric|((m+1)/2),4,2,-2,1)[0,0,0];

Grid=rosad(0,0,n,360/n)|bb(L/(2*m),

L/(2*m*tan|(180/n))|lux(RN)|E;

use &,vm(2),vt(2),vh(0,-2*L,5*L,

0,0,0, 0,0,1);

clear; draw Grid;

برنامه^{۲۴} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۲۴ و ۲۵

(*) Formian scheme for configurations

similar to Fig 24 (m=9, n=6) and

Fig 25 (m=9, n=9): Sectorate single

layer grid with ternate/hexagonal pattern.

(*). See Reference 1

L=20; (*) Length of each side of the grid (*)

m=9; (*) Frequency of the original ternate

grid, m must be a multiple of 3 (*)

n=6; (*) Number of sides (*)

E=genid(1,m,2,1,-1,1){[0,0,0; -1,1,0],

[0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};

RN=genid(1,(m/3)+1),6,3,-3,1)[0,0,0];

Grid=pex|rosad(0,0,n,360/n)|bb(L/(2*m),

L/(2*m*tan|(180/n))|lux(RN)|E;

use &,vm(2),vt(2),vh(0,-2*L,5*L,

0,0,0, 0,0,1);

clear; draw Grid;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۲۶ و ۲۷

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 26 (m=11, n=5) and Fig 27 (m=11, n=6): Sectorate single layer grid with ternate/hexagonal pattern.
 (*). See Reference 1
 L=20; (*) Length of each side of the grid (*)
 m=11; (*) Frequency of the original ternate grid, m must be a multiple of 3 minus 1(*)
 n=5; (*) Number of sides (*)
 q=ric((m+1)/3);
 E=[-1,1,0; 1,1,0]#lam(1,0){[-1,1,0; 0,2,0], [-2,2,0; 0,2,0]};
 F=genid(1,q,6,3,-3,1)|E# genid(1,q-1,6,3,-3,1)|(lamid(0,3)|lam(1,-1)| [-2,2,0; -1,3,0]#ref(2,3)|E);
 Grid=rosad(0,0,n,360/n)|bb(L/(2*m), L/(2*m*tan|(180/n)))|F;
 use & ,vm(2),vt(2),vh(0,-2*L,5*L, 0,0,0, 0,0,1);
 clear; draw Grid;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۲۸، ۲۹ و ۳۰

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 28 (n=6), Fig 29 (n=8) and Fig 30 (n=11): Sectorate single layer grid with hexagonal pattern.
 (*). See Reference 1
 L=20; (*) Length of each side of the grid (*)
 m=9; (*) Frequency of the original ternate grid, m must be a multiple of 3 (*)
 n=6; (*) Number of sides (*)
 E=genid(1,m,2,1,-1,1){[0,0,0; -1,1,0], [0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};
 RN=genid(1,((m/3)+1),6,3,-3,1)|[0,0,0]# genid(1,m/3,6,3,-3,1)|[0,2,0]# genid(1,((m/3)-1),6,3,-3,1)|[0,4,0];
 Grid=pex|rosad(0,0,n,360/n)|bb(L/(2*m), L/(2*m*tan|(180/n)))|lux(RN)|E;
 use & ,vm(2),vt(2),vh(0,-2*L,5*L, 0,0,0, 0,0,1);
 clear; draw Grid;

برنامه^{۳۱} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۳۱

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 31: Single layer grid with
hexagonal (honycomb) pattern.
See Reference 1. (*)
L1=25; (*) Length in U1 direction (*)
L2=24; (*) Length in U2 direction (*)
m=4; (*) Frequency of second row
of hexagons in U1 direction (*)
n=5; (*) Frequency of hexagons in
U2 direction along the sides (*)
E=rinid(m,n,6,2)|lamid(2,2)|[1,1,0; 0,2,0]#
rinid(m,n+1,6,2)|[1,1,0; 3,1,0]#
rin(1,m-1,6)|lamid(5,n+1)|[4,0,0; 3,1,0]#
rinid(m-1,n+2,6,2)|[4,0,0; 6,0,0];
Grid=bb(L1/(6*m-2),L2/(2*(n+1)))|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه^{۳۲} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۳۲

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 32: Single layer grid with
quadrate pattern. See Reference 1. (*)
L1=25; (*) Length in U1 direction (*)
L2=25; (*) Length in U2 direction (*)
m=6; (*) Frequency of crosses
in U1 direction (*)
n=6; (*) Frequency of crosses
in U2 direction (*)
E=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,0]#
rinid(m,n+1,2,2)|[0,0,0; 2,0,0]#
rinid(m+1,n,2,2)|[0,0,0; 0,2,0];
Grid=bb(L1/(2*m),L2/(2*n))|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```


برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۳۳

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 33: Single layer grid with quadrate pattern and openings.
See Reference 1. (*)
L1=25; (*) Length in U1 direction (*)
L2=25; (*) Length in U2 direction (*)
m=13; (*) Frequency of crosses in U1 direction, m must be a multiple of 3 plus 1 (*)
n=13; (*) Frequency of crosses in U2 direction, n must be a multiple of 3 plus 1 (*)
E=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,0]#
rinid(m,n+1,2,2)|[0,0,0; 2,0,0]#
rinid(m+1,n,2,2)|[0,0,0; 0,2,0];
RN=rinid((m-1)/3,(n-1)/3,6,6)|[4,4,0];
Grid=bb(L1/(2*m),L2/(2*n))|lux(RN)|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۳۴

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 34: Single layer grid with quadrate pattern and openings.
See Reference 1. (*)
L1=25; (*) Length in U1 direction (*)
L2=25; (*) Length in U2 direction (*)
m=12; (*) Frequency of crosses in U1 direction, m must be a multiple of 4 (*)
n=12; (*) Frequency of crosses in U2 direction, n must be a multiple of 4 (*)
E=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,0]#
rinid(m,n+1,2,2)|[0,0,0; 2,0,0]#
rinid(m+1,n,2,2)|[0,0,0; 0,2,0];
RN=rinid(m/4,n/4,8,8)|[4,4,0]#
rinid((m/4)-1,(n/4)-1,8,8)|[8,8,0];
Grid=bb(L1/(2*m),L2/(2*n))|lux(RN)|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۳۵

```
(*) Formian scheme for configurations
  similar to Fig 35: Single layer grid with
  quadrate pattern. See Reference 1. (*)
L1=25; (*) Length in U1 direction (*)
L2=25; (*) Length in U2 direction (*)
m=5; (*) Frequency of crosses
      in U1 direction (*)
n=5; (*) Frequency of crosses
      in U2 direction (*)
E=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,0]#
  rinid(2*m,2*n+1,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
  rinid(2*m+1,2*n,1,1)|[0,0,0; 0,1,0];
Grid=bb(L1/(2*m),L2/(2*n))|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۳۶

```
(*) Formian scheme for configurations
  similar to Fig 36: Single layer grid with
  quadrate pattern with openings.
  See Reference 1. (*)
L1=25; (*) Length in U1 direction (*)
L2=25; (*) Length in U2 direction (*)
m=7; (*) Frequency of crosses in U1
      direction, m must be odd (*)
n=7; (*) Frequency of crosses in U2
      direction, n must be odd (*)
E=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,0]#
  rinid(2*m,2*n+1,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
  rinid(2*m+1,2*n,1,1)|[0,0,0; 0,1,0];
RN=rinid((m-1)/2,(n-1)/2,4,4)|[3,3,0];
Grid=bb(L1/(2*m),L2/(2*n))|
  (lux(RN)|E#rinid((m-1)/2,(n-1)/2,4,4)|
  rosad(3,3)|[3,2,0; 2,3,0]);
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۳۷

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 37: Double layer grid with
binate on binate pattern. See Section 1.7
of Reference 1. (*)
L1=20; (*) Length in U1 direction (*)
L2=20; (*) Length in U2 direction (*)
D=2; (*) Depth of grid (*)
m=6; (*) Frequency in U1 direction (*)
n=6; (*) Frequency in U2 direction (*)
T=rinid(m,n+1,2,2)|[0,0,1; 2,0,1]#
rinid(m+1,n,2,2)|[0,0,1; 0,2,1];
B=rinid(m-1,n,2,2)|[1,1,0; 3,1,0]#
rinid(m,n-1,2,2)|[1,1,0; 1,3,0];
W=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,1; 1,1,0];
Grid=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|(T#B#W);
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/3,2*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۳۸

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 38: Double layer grid with
binate on binate pattern and some openings.
See Section 1.7 of Reference 1. (*)
L1=20; (*) Length in U1 direction (*)
L2=20; (*) Length in U2 direction (*)
D=2; (*) Depth of grid (*)
m=7; (*) Frequency in
U1 direction, m must be odd (*)
n=7; (*) Frequency in
U2 direction, n must be odd (*)
T=rinid(m,n+1,2,2)|[0,0,1; 2,0,1]#
rinid(m+1,n,2,2)|[0,0,1; 0,2,1];
B=rinid(m-1,n,2,2)|[1,1,0; 3,1,0]#
rinid(m,n-1,2,2)|[1,1,0; 1,3,0];
W=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,1; 1,1,0];
RN=lamid(m,n)|[m-2,n-2,0];
G=T#lux(RN)|(B#W);
Grid=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|G;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/6,2*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;

برنامه^{۳۹} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۳۹

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 39: Double layer grid with
binate on larger binate pattern.
See Section 1.7 of Reference 1. (*)
L1=20;  (*) Length in U1 direction (*)
L2=20;  (*) Length in U2 direction (*)
D=2;    (*) Depth of grid (*)
m=7;    (*) Frequency in
         U1 direction, m must be odd (*)
n=7;    (*) Frequency in
         U2 direction, n must be odd (*)
T=rinid(m,n+1,2,2)|[0,0,1; 2,0,1]#
  rinid(m+1,n,2,2)|[0,0,1; 0,2,1];
B=rinid(m-1,n,2,2)|[1,1,0; 3,1,0]#
  rinid(m,n-1,2,2)|[1,1,0; 1,3,0];
W=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,1; 1,1,0];
RN=rinid(tic(m/2),tic(n/2),4,4)|[3,3,0];
G=T#lux(RN)|(B#W);
Grid=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|G;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/6,2*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه^{۴۰} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۴۰

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 40: Mansard double layer
grid with binate on binate pattern.
See Section 1.7 of Reference 1. (*)
L1=20;  (*) Length in U1 direction (*)
L2=20;  (*) Length in U2 direction (*)
D=2;    (*) Depth of grid (*)
m=6;    (*) Frequency in U1 direction (*)
n=6;    (*) Frequency in U2 direction (*)
T=rinid(m-1,n,2,2)|[1,1,1; 3,1,1]#
  rinid(m,n-1,2,2)|[1,1,1; 1,3,1];
B=rinid(m,n+1,2,2)|[0,0,0; 2,0,0]#
  rinid(m+1,n,2,2)|[0,0,0; 0,2,0];
W=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,1];
Grid=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|(T#B#W);
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/3,2*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۴۱

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 41: Mansard double layer grid with binate on binate pattern and some openings.

See Section 1.7 of Reference 1. (*)

L1=24; (*) Length in U1 direction (*)

L2=24; (*) Length in U2 direction (*)

D=2; (*) Depth of grid (*)

m=8; (*) Frequency in

U1 direction, m must be even (*)

n=8; (*) Frequency in

U2 direction, n must be even (*)

T=rinid(m-1,n,2,2)[1,1,1; 3,1,1]#

rinid(m,n-1,2,2)[1,1,1; 1,3,1];

B=rinid(m,n+1,2,2)[0,0,0; 2,0,0]#

rinid(m+1,n,2,2)[0,0,0; 0,2,0];

W=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)[0,0,0; 1,1,1];

RN=lamid(m,n)[m-4,n-4,0]#[m,n,0];

G=T#lux(RN)|(B#W);

Grid=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|G;

use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/6,3*L2,

L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);

clear; draw Grid;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۴۲

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 42: Mansard double layer grid with binate on larger binate pattern.

See Section 1.7 of Reference 1. (*)

L1=24; (*) Length in U1 direction (*)

L2=24; (*) Length in U2 direction (*)

D=2; (*) Depth of grid (*)

m=8; (*) Frequency in

U1 direction, m must be even (*)

n=8; (*) Frequency in

U2 direction, n must be even (*)

T=rinid(m-1,n,2,2)[1,1,1; 3,1,1]#

rinid(m,n-1,2,2)[1,1,1; 1,3,1];

B=rinid(m,n+1,2,2)[0,0,0; 2,0,0]#

rinid(m+1,n,2,2)[0,0,0; 0,2,0];

W=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)[0,0,0; 1,1,1];

RN=rinid((m-2)/2,(n-2)/2,4,4)[4,4,0];

G=T#lux(RN)|(B#W);

Grid=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|G;

use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/6,3*L2,

L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);

clear; draw Grid;

برنامه^{۴۳} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۴۳

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 43: Double layer grid with

. obnate on obnate pattern

See Reference 1 (*)

```
L1=20;  (*) Length in U1 direction (*)
L2=20;  (*) Length in U2 direction (*)
D=2;    (*) Depth of grid (*)
m=5;    (*) Frequency in U1 direction (*)
n=5;    (*) Frequency in U2 direction (*)
T=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[1,0,1; 0,1,1]#
  rinid(m-1,2,2,2*n)|[1,0,1; 3,0,1]#
  rinid(2,n-1,2*m,2)|[0,1,1; 0,3,1];
B=rinid(m-1,n-1,2,2)|lamid(2,2)|
[1,1,0; 2,2,0]#rinid(m-1,2,2,2*(n-1))|
[1,1,0; 3,1,0]#rinid(2,n-1,2*(m-1),2)|
[1,1,0; 1,3,0];
W=rinid(m,n,2,2)|rosad(1,1)|[1,0,1; 1,1,0]#
  rinid(m-1,n-1,2,2)|rosad(2,2)|
[2,1,1; 2,2,0];
Grid=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|(T#B#W);
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/3,2*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه^{۴۴} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۴۴

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 44: Double layer grid with
obnate on larger obnate pattern.

See Reference 1 (*)

```
L1=20;  (*) Length in U1 direction (*)
L2=20;  (*) Length in U2 direction (*)
D=2;    (*) Depth of grid (*)
m=6;    (*) Frequency in
  U1 direction, m must be even (*)
n=6;    (*) Frequency in
  U2 direction, n must be even (*)
T=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[1,0,1; 0,1,1]#
  rinid(m-1,2,2,2*n)|[1,0,1; 3,0,1]#
  rinid(2,n-1,2*m,2)|[0,1,1; 0,3,1];
B=rinid(m-1,n-1,2,2)|lamid(2,2)|
[1,1,0; 2,2,0]#rinid(m-1,2,2,2*(n-1))|
[1,1,0; 3,1,0]#rinid(2,n-1,2*(m-1),2)|
[1,1,0; 1,3,0];
W=rinid(m,n,2,2)|rosad(1,1)|
[1,0,1; 1,1,0]#rinid(m-1,n-1,2,2)|
  rosad(2,2)|[2,1,1; 2,2,0];
RN=rinid(ric|((m-2)/2),ric|((n-2)/2),4,4)|
  rosad(4,4)|[4,2,0];
G=T#lux(RN)|(B#W);
Grid=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|G;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/5,2*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۴۵

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 45: Mansard double layer

. grid with obnate on obnate pattern

See Reference 1 (*)

L1=20; (*) Length in U1 direction (*)

L2=20; (*) Length in U2 direction (*)

D=2; (*) Depth of grid (*)

m=5; (*) Frequency in U1 direction (*)

n=5; (*) Frequency in U2 direction (*)

T=rinid(m-1,n-1,2,2)|lamid(2,2)|

[1,1,1; 2,2,1]#rinid(m-1,2,2,2*(n-1))|

[1,1,1; 3,1,1]#rinid(2,n-1,2*(m-1),2)|

[1,1,1; 1,3,1];

B=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[1,0,0; 0,1,0]#

rinid(m-1,2,2,2*n)|[1,0,0; 3,0,0]#

rinid(2,n-1,2*m,2)|[0,1,0; 0,3,0];

W=rinid(m,n,2,2)|rosad(1,1)|[1,0,0; 1,1,1]#

rinid(m-1,n-1,2,2)|

rosad(2,2)|[2,1,0; 2,2,1];

Grid=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|(T#B#W);

use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/3,2*L2,

L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);

clear; draw Grid;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۴۶

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 46: Mansard double layer

grid with obnate on larger obnate pattern.

See Reference 1 (*)

L1=20; (*) Length in U1 direction (*)

L2=20; (*) Length in U2 direction (*)

D=2; (*) Depth of grid (*)

m=7; (*) Frequency in U1 direction (*)

n=7; (*) Frequency in U2 direction (*)

T=rinid(m-1,n-1,2,2)|lamid(2,2)|

[1,1,1; 2,2,1]#rinid(m-1,2,2,2*(n-1))|

[1,1,1; 3,1,1]#rinid(2,n-1,2*(m-1),2)|

[1,1,1; 1,3,1];

B=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[1,0,0; 0,1,0]#

rinid(m-1,2,2,2*n)|[1,0,0; 3,0,0]#

rinid(2,n-1,2*m,2)|[0,1,0; 0,3,0];

W=rinid(m,n,2,2)|rosad(1,1)|[1,0,0; 1,1,1]#

rinid(m-1,n-1,2,2)|

rosad(2,2)|[2,1,0; 2,2,1];

RN={ [m,n-3,0], [m-3,n,0], [m,n+3,0],

[m+3,n,0]};

G=T#lux(RN)|(B#W);

Grid=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|G;

use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/5,2*L2,

L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);

clear; draw Grid;

برنامه^{۴۷} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۴۷

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 47: Double layer grid with
binate on larger obnate pattern.
See Reference 1 (*)
L1=20; (*) Length in U1 direction (*)
L2=20; (*) Length in U2 direction (*)
D=2; (*) Depth of grid (*)
m=7; (*) Frequency in
      U1 direction, m must be odd (*)
n=7; (*) Frequency in
      U2 direction, n must be odd (*)
T=rinid(m,n+1,2,2)|[0,0,1; 2,0,1]#
  rinid(m+1,n,2,2)|[0,0,1; 0,2,1];
B=rinid(tic|(m/2),tic|(n/2),4,4)|lamid(3,3)|
  [1,1,0; 3,3,0]#rinid(m-1,2,2,2*(n-1))|
  [1,1,0; 3,1,0]#rinid(2,n-1,2*(m-1),2)|
  [1,1,0; 1,3,0];
RN=rinid(ric|((m-3)/2),ric|((n-1)/2),4,4)|
  [5,3,0]#rinid(ric|((m-1)/2),ric|
  ((n-3)/2),4,4)|[3,5,0];
W=lux(RN)|rinid(m,n,2,2)|
  lamid(1,1)|[0,0,1; 1,1,0];
Grid=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|(T#B#W);
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/2,3*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه^{۴۸} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۴۸

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 48: Double layer grid with
. obnate on larger binate pattern
See Reference 1 (*)
L1=20; (*) Length in U1 direction (*)
L2=20; (*) Length in U2 direction (*)
D=2; (*) Depth of grid (*)
m=5; (*) Frequency in
      U1 direction, m must be odd (*)
n=5; (*) Frequency in
      U2 direction, n must be odd (*)
T=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[1,0,1; 0,1,1]#
  rinid(m-1,2,2,2*n)|[1,0,1; 3,0,1]#
  rinid(2,n-1,2*m,2)|[0,1,1; 0,3,1];
B=rinid(m-1,n,2,2)|[1,1,0; 3,1,0]#
  rinid(m,n-1,2,2)|[1,1,0; 1,3,0];
W=rinid(m,n,2,2)|rosad(1,1)|[1,0,1; 1,1,0];
Grid=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|(T#B#W);
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/2,3*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```


برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۴۹

```
(* ) Formian scheme for configurations
similar to Fig 49: Double layer grid with
ternate on ternate pattern.
See Reference 1 (*)
L1=24;  (*) Length in U1 direction (*)
L2=22;  (*) Length in U2 direction (*)
D=2;    (*) Depth of grid (*)
m=5;    (*) Frequency in U1 direction (*)
n=6;    (*) Frequency in
          U2 direction, n must be even (*)
T=rinid(m,n/2,2,6)|lamid(2,3)|[1,0,1; 2,3,1]#
rinid(m,1+n/2,2,6)|[1,0,1; 3,0,1]#
rinid(m-1,n/2,2,6)|[2,3,1; 4,3,1];
B=rinid(m+1,n/2,2,6)|lamid(1,4)|
[0,1,0; 1,4,0]#rinid(m+1,1+n/2,2,6)|
[0,1,0; 2,1,0]#rinid(m,n/2,2,6)|
[1,4,0; 3,4,0];
W=rinid(m+1,1+n/2,2,6)|lam(1,1)|
[0,1,0; 1,0,1]#rinid(m,n/2,2,6)|
lam(1,2)|[1,4,0; 2,3,1]#
rinid(m+1,n/2,2,6)|[1,4,0; 1,6,1]#
rinid(m,n/2,2,6)|[2,1,0; 2,3,1];
Grid=bt(L1/(2*m+2),L2/(3*n+1),D)|
(T#B#W);
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/2,4*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۵۰

```
(* ) Formian scheme for configurations
similar to Fig 50: Double layer grid with
hexagon on hexagon pattern.
See Reference 1 (*)
L1=22;  (*) Length in U1 direction (*)
L2=20;  (*) Length in U2 direction (*)
D=2;    (*) Depth of grid (*)
m=5;    (*) Frequency in U1 direction (*)
n=3;    (*) Frequency in U2 direction (*)
T=rinid(m+1,n,4,12)|lamid(1,6)|
[0,3,1; 1,6,1]#rinid(m,n,4,12)|lamid(3,6)|
[2,3,1; 3,0,1]#rinid(2*m+1,2*n,2,6)|
[0,3,1; 2,3,1];
B=rinid(m,n,4,12)|lamid(3,6)|[1,4,0; 3,2,0]#
rinid(m+1,n,4,12)|[1,4,0; 1,8,0]#
rinid(m,n-1,4,12)|[3,10,0; 3,14,0];
W=rinid(m+1,n,4,12)|(lamid(1,6)|
[0,3,1; 1,4,0]#lam(2,6)|[1,6,1; 1,4,0])#
rinid(m,n,4,12)|(lamid(3,6)|[2,3,1; 3,2,0]#
lam(2,6)|[3,0,1; 3,2,0]);
Grid=bt(L1/(4*m+2),L2/(12*n),D)|
(T#B#W);
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,6*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۵۱

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 51: Double layer grid with
hexagon on triangle pattern.

See Reference 1 (*)

L1=22; (*) Length in U1 direction (*)

L2=20; (*) Length in U2 direction (*)

D=2; (*) Depth of grid (*)

m=4; (*) Frequency in U1 direction,
number of hexagons in the
second row of top layer (*)

n=5; (*) Frequency in U2 direction,
number of hexagons along
the sides of top layer (*)

T=rinid(m,n,6,2)|lamid(2,2)|[1,1,1; 0,2,1]#
rin(1,m-1,6)|lamid(5,n+1)|[3,1,1; 4,0,1]#
rinid(m,n+1,6,2)|[1,1,1; 3,1,1]#
rinid(m-1,n+2,6,2)|[4,0,1; 6,0,1];

B=rinid(m-1,n,6,2)|lamid(5,2)|[2,2,0; 5,1,0]#
rinid(m,n-1,6,2)|[2,2,0; 2,4,0]#
rinid(m-1,n,6,2)|[5,1,0; 5,3,0];

W=rinid(m,n,6,2)|(lamid(2,2)|[1,1,1; 2,2,0]#
lam(1,2)|[0,2,1; 2,2,0])#
rinid(m-1,n+1,6,2)|(lamid(5,1)|
[4,0,1; 5,1,0]#lam(1,5)|[3,1,1; 5,1,0]);

Grid=bt(L1/(6*m-2),L2/((n+1)*2),D)|
(T#B#W);

use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/2,4*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);

clear; draw Grid;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۵۲

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 52: Double layer grid with
hexagon on larger hexagon pattern.
See Reference 1 (*)
L1=24; (*) Length in U1 direction (*)
L2=21; (*) Length in U2 direction (*)
D=2; (*) Depth of grid (*)
m=5; (*) Frequency in U1 direction (*)
n=6; (*) Frequency in U2 direction,
n must be even (*)
T=rinid(m,n,6,2)|lamid(2,2)|[1,1,1; 0,2,1]#
rin(1,m-1,6)|lamid(5,n+1)|[3,1,1; 4,0,1]#
rinid(m,n+1,6,2)|[1,1,1; 3,1,1]#
rinid(m-1,n+2,6,2)|[4,0,1; 6,0,1];
RN=rinid(m-1,n/2,6,4)|[5,3,0];
B=lux(RN)|(rinid(m-1,n,6,2)|lamid(5,2)|
[2,2,0; 5,1,0]#rinid(m,n-1,6,2)|[2,2,0;
2,4,0]#rinid(m-1,n,6,2)|[5,1,0; 5,3,0]);
W=lux(RN)|(rinid(m,n,6,2)|(lamid(2,2)|
[1,1,1; 2,2,0]#lam(1,2)|[0,2,1; 2,2,0])#
rinid(m-1,n+1,6,2)|(lamid(5,1)|
[4,0,1; 5,1,0]#lam(1,5)|[3,1,1; 5,1,0]));
Grid=bt(L1/(6*m-2),L2/((n+1)*2),D)|
(T#B#W);
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/2,4*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۵۳

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 53: Binate trussed double
layer grid
See Reference 1 (*).
L1=16; (*) Length in U1 direction (*)
L2=16; (*) Length in U2 direction (*)
D=1.5; (*) Depth of grid (*)
m=5; (*) Frequency in U1 direction (*)
n=5; (*) Frequency in U2 direction (*)
T=rinid(m,n+1,2,2)|[0,0,1; 2,0,1]#
rinid(m+1,n,2,2)|[0,0,1; 0,2,1];
B=rinid(m,n+1,2,2)|[0,0,0; 2,0,0]#
rinid(m+1,n,2,2)|[0,0,0; 0,2,0];
E=lamis(1,0.5)|[0,0,0; 1,0,0.5]#
lam(1,1)|[0,0,0; 0,0,1];
W=pex|(rinid(m,n+1,2,2)|E#
rinid(m+1,n,2,2)|verad(0,0)|E);
Grid=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|(T#B#W);
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/3,2*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;

برنامه^{۵۴} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۵۴

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 54: Obnate trussed
See Reference 1 (*). double layer grid
L1=16; (*) Length in U1 direction (*)
L2=16; (*) Length in U2 direction (*)
D=1.5; (*) Depth of grid (*)
m=4; (*) Frequency in U1 direction (*)
n=4; (*) Frequency in U2 direction (*)
T=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,1; 1,1,1]#
rinid(m,2,2,2*n)|[0,0,1; 2,0,1]#
rinid(2,n,2*m,2)|[0,0,1; 0,2,1];
B=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,0]#
rinid(m,2,2,2*n)|[0,0,0; 2,0,0]#
rinid(2,n,2*m,2)|[0,0,0; 0,2,0];
E=lam(3,0.5)|{[0,0,0; 0.5,0.5,0.5],
[0.5,0.5,0.5; 1,1,0]}#
{[0,0,1; 0,0,0], [1,1,1; 1,1,0]};
F=lamis(1,0.5)|[0,0,0; 1,0,0.5]#
lam(1,1)|[0,0,0; 0,0,1];
W=pex|(rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|E#
rinid(m,2,2,2*n)|F#rinid(2,n,2*m,2)|
verad(0,0)|F);
Grid=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|(T#B#W);
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,2.5*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه^{۵۵} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۵۵

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 55: Double layer grid with
ternate on ternate pattern and with a
triangular shape in plan.
See Section 1.7 of Reference 1. (*)
L=20; (*) Length of each side of grid (*)
D=2; (*) Depth of grid (*)
m=7; (*) Number of tetrahedral units
along each side of the grid (*)
T=genid(m,m,2,3,1,-1)|[0,0,1; 2,0,1]#
lam(1,1)|[0,0,1; 1,3,1];
B=genid(m-1,m-1,2,3,1,-1)|[1,1,0; 3,1,0]#
lam(1,2)|[1,1,0; 2,4,0];
W=genid(m,m,2,3,1,-1)|[1,3,1; 1,1,0]#
lam(1,1)|[0,0,1; 1,1,0];
*m),D)|Grid=bt(L/(2*m),L*sqrt(3)/(
(T#B#W);
use &,vm(2),vt(2),vh(L/2,-L/2,6*L,
L/2,L/2,0, L/2,L/2,1);
clear; draw Grid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه های شبیه به شکل های ۵۶ و ۵۷

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 56 (m=12, n=3) and Double layer grid Fig 57 (m=12, n=4): with ternate on ternate pattern and a triangular plan with curtailed corners. See Section 1.7 of Reference 1. (*)
 L=40; (*) Length of each side of the complete triangular plan (*)
 D=2; (*) Depth of grid (*)
 m=12; (*) Number of tetrahedral units along each side of the complete triangular plan (*)
 n=3; (*) Extent of the corner curtailment of the grid (*)
 RN=lam(1,m)|genid(n,n,2,3,1,-1)|
 {[0,0,1],[1,1,0]}#genid(1,n,2,-3,-1,1)|
 {[m,3*m,1], [m,3*m-2,0]};
 T=lux(RN)|genid(m,m,2,3,1,-1)|
 ([0,0,1; 2,0,1]#lam(1,1))[0,0,1; 1,3,1];
 B=lux(RN)|genid(m-1,m-1,2,3,1,-1)|
 ([1,1,0; 3,1,0]#lam(1,2))[1,1,0; 2,4,0];
 W=lux(RN)|genid(m,m,2,3,1,-1)|
 ([1,3,1; 1,1,0]#lam(1,1))[0,0,1; 1,1,0];
 *m),D)|Grid=bt(L/(2*m),L*sqrt(3/(
 (T#B#W);
 use &,vm(2),vt(2),vh(L/2,-L/2,6*L,
 L/2,L/2,0, L/2,L/2,1);
 clear; draw Grid;

برنامه فرمینی برای تاشه های شبیه به شکل های ۵۸، ۵۹ و ۶۰

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 58 (m=5, n=5), Fig 59 (m=4, n=6) and Fig 60 (m=4, n=8): Sectorate double layer grid with ternate on ternate pattern. See Section 2.2 of (*) Reference 2
 L=20; (*) Length of each side (*)
 D=2.15; (*) Depth of grid (*)
 m=5; (*) Frequency of top layer (*)
 n=5; (*) Number of sides (*)
 S=L/(2*tan(180/n));
 ET=genid(1,m,2,3,-1,1)|{[0,0,0; -1,3,0],
 [0,0,0; 1,3,0], [-1,3,0; 1,3,0]};
 EB=genid(1,m-1,2,3,-1,1)|{[0,2,-1; -1,5,-1],
 [0,2,-1; 1,5,-1], [-1,5,-1; 1,5,-1]};
 EW=genid(1,m,2,3,-1,1)|{[0,0,0; 0,2,-1],
 [-1,3,0; 0,2,-1], [1,3,0; 0,2,-1]};
 E=bt(L/(2*m),S/(3*m),D)|(ET#EB#EW);
 Qi=[0,2,-1]; Ri=bt(L/(2*m),S/(3*m),D)|Qi;
 Rj=verad(0,0,360/n)|Ri; K1=tig|(Ri#Rj);
 K2=rinad(0,0,-L/(2*m),S/m,m)|K1;
 Grid=pex|rosad(0,0,n,360/n)|(E#K2);
 use &,vm(2); clear; draw Grid;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۶۱، ۶۲ و ۶۳

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 61 (n=5), Fig 62 (n=6)
and Fig 63 (n=7): Sectorate double layer
grid with ternate/hexagonal on ternate/
(*). hexagonal pattern. See Reference 1
L=20; (*) Length of each side of the grid (*)
D=2; (*) Depth of grid (*)
m=8; (*) Frequency of the original ternate
pattern of the top layer, m must
be a multiple of 3 minus 1 (*)
n=5; (*) Number of sides (*)
q=ric|((m+1)/3);
E=[-2,2,1; 2,2,1]#lam(1,0)|{-2,2,1; 0,4,1},
[-4,4,1; 0,4,1]};
T=genid(1,q,12,6,-6,1)|E#
genid(1,q-1,12,6,-6,1)|(lamid(0,6)|
lam(1,-2)|[-4,4,1; -2,6,1]#ref(2,6)|E);
B=genid(1,q-1,12,6,-6,1)|lamid(0,6)|[-3,3,0;
0,6,0]#genid(1,q,6,6,-6,2)|[-3,3,0; 3,3,0];
W=(genid(1,q,12,6,-6,1)|lam(1,0)|
{[0,4,1; -3,3,0], [-2,2,1; -3,3,0],
[-4,4,1; -3,3,0]};#genid(1,q-1,12,6,-6,1)|
(lam(1,0)|{-2,6,1; 0,6,0}, [0,8,1; -3,9,0]};#
lam(2,6)|[0,4,1; 0,6,0]));
Grid=pex|rosad(0,0,n,360/n)|bt(L/(4*m),
L/(4*m*tan|(180/n)),D)|(T#B#W);
use &,vm(2); clear; draw Grid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۶۴ و ۶۵

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 64 ($p=6, q=6$) and Fig 65 ($p=4, q=2$): Compound double layer grid with binate on binate pattern (obtained by overlapping two grids). See Section 1.7 of Reference 1. (*)
 $L1=16$; (*) Length of the base grid in U1 direction (*)
 $L2=16$; (*) Length of the base grid in U2 direction (*)
 $D=2$; (*) Depth of grid (*)
 $m=5$; (*) Frequency of the base grid in U1 direction (*)
 $n=5$; (*) Frequency of the base grid in U2 direction (*)
 $p=6$; (*) Shift in U1 direction, p must be even (*)
 $q=6$; (*) Shift in U2 direction, q must be even (*)
 $T=rinid(m,n+1,2,2)|[0,0,1; 2,0,1]#\$
 $rinid(m+1,n,2,2)|[0,0,1; 0,2,1];$
 $B=rinid(m-1,n,2,2)|[1,1,0; 3,1,0]#\$
 $rinid(m,n-1,2,2)|[1,1,0; 1,3,0];$
 $W=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,1; 1,1,0];$
 $G=T\#B\#W;$
 $G=pex|(G\#trand(p,q)|G);$
 $Grid=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|G;$
 use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/3,3*L2,
 $L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);$
 clear; draw Grid;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۶۶

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 66: Barrel vault with binate pattern. See Section 1.8 of Reference 1. (*)
 $S=28$; (*) Span (*)
 $H=8$; (*) Rise (*)
 $L=37$; (*) Length (*)
 $m=9$; (*) Frequency in U2 direction (*)
 $n=12$; (*) Frequency in U3 direction (*)
 $A=2*atan(2*H/S)$; (*) Sweep angle (*)
 $R=S/(2*\sin|A)$; (*) Radius (*)
 $E=rinit(m,n+1,1,1)|[1,0,0; 1,1,0]#\$
 $rinit(m+1,n,1,1)|[1,0,0; 1,0,1];$
 $F=bc(R,2*A/m,L/n)|E;$
 $Vault=verad(0,0,90-A)|F;$
 use &,vm(2),vt(2),
 $vh(0,2.5*R,-R, 0,0,R, 0,1,R);$
 clear; draw Vault;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۶۷

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 67: Barrel vault with lamella
(obnate) pattern. See Section 1.8 of
Reference 1. (*)
S=30; (*) Span (*)
H=8; (*) Rise (*)
L=45; (*) Length (*)
m=7; (*) Frequency in U2 direction (*)
n=8; (*) Frequency in U3 direction (*)
A=2*atan|(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin|A); (*) Radius (*)
E=rinit(m,n,2,2)|lamit(1,1)|[1,0,0; 1,1,1]#
rinit(m,2,2,2*n)|[1,0,0; 1,2,0]#
rinit(2,n,2*m,2)|[1,0,0; 1,0,2];
F=bc(R,A/m,L/(2*n))|E;
Vault=verad(0,0,90-A)|F;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,3*R,-2*R, 0,0,R, 0,1,R);
clear; draw Vault;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۶۸

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 68: Lamella barrel vault
with additional ribs.
See Section 1.8 of Reference 1. (*)
S=30; (*) Span (*)
H=8; (*) Rise (*)
L=45; (*) Length (*)
m=7; (*) Frequency in U2 direction (*)
n=8; (*) Frequency in U3 direction (*)
A=2*atan|(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin|A); (*) Radius (*)
E=rinit(m,n,2,2)|lamit(1,1)|[1,0,0; 1,1,1]#
rinit(m,n+1,2,2)|[1,0,0; 1,2,0]#
rinit(2,n,2*m,2)|[1,0,0; 1,0,2];
F=bc(R,A/m,L/(2*n))|E;
Vault=verad(0,0,90-A)|F;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,3*R,-2*R, 0,0,R, 0,1,R);
clear; draw Vault;
```


برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۶۹

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 69: Binate barrel vault
with additional bracings.
See Section 1.8 of Reference 1. (*)
S=28; (*) Span (*)
H=8; (*) Rise (*)
L=32; (*) Length (*)
m=8; (*) Frequency
in U2 direction, m must be even (*)
n=10; (*) Frequency
in U3 direction, n must be even (*)
A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin|A); (*) Radius (*)
mm=ric|(m/2); nn=ric|(n/2);
E=rinit(m,n+1,1,1)|[1,0,0; 1,1,0]#
rinit(m+1,n,1,1)|[1,0,0; 1,0,1]#
lamit(mm,nn)|rinit(mm,nn,1,1)|
[1,0,1; 1,1,0];
F=bc(R,2*A/m,L/n)|E;
Vault=verad(0,0,90-A)|F;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,3*R,-R,0,0,R,0,1,R);
clear; draw Vault;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۷۰

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 70: Binate barrel vault
with additional bracings.
See Section 1.8 of Reference 1. (*)
S=28; (*) Span (*)
H=8; (*) Rise (*)
L=32; (*) Length (*)
m=10; (*) Frequency
in U2 direction, m must be even (*)
n=10; (*) Frequency
in U3 direction, n must be even (*)
A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin|A); (*) Radius (*)
mm=ric|(m/2); nn=ric|(n/2);
E=lux(rin(3,nn,2)|[1,mm,1])|
(rinit(m,n+1,1,1)|[1,0,0; 1,1,0]#
rinit(m+1,n,1,1)|[1,0,0; 1,0,1]#
lamit(mm,nn)|rinit(mm,ric|(nn/2),1,2)|
lam(3,1)|[1,0,1; 1,1,0]);
F=bc(R,2*A/m,L/n)|E;
Vault=verad(0,0,90-A)|F;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,3*R,-R,0,0,R,0,1,R);
clear; draw Vault;
```

برنامه^{۷۱} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۷۱

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 71: Double layer barrel
vault with binate on binate pattern.
See Section 1.8 of Reference 1. (*)
S=20; (*) Span (of top layer) (*)
H=6; (*) Rise (of top layer) (*)
D=1.5; (*) Depth of the vault (*)
L=24; (*) Length of the vault (*)
m=6; (*) Frequency in U2 direction (*)
n=6; (*) Frequency in U3 direction (*)
A=2*atan|(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
Rt=S/(2*sin|A); (*) Top radius (*)
Rb=Rt-D; (*) Bottom radius (*)
T=rinit(m,n+1,2,2)|[Rt,0,0; Rt,2,0]#
  rinit(m+1,n,2,2)|[Rt,0,0; Rt,0,2];
B=rinit(m-1,n,2,2)|[Rb,1,1; Rb,3,1]#
  rinit(m,n-1,2,2)|[Rb,1,1; Rb,1,3];
W=rinit(m,n,2,2)|lamit(1,1)
  [Rt,0,0; Rb,1,1];
E=bc(1,A/m,L/(2*n))|(T#B#W);
Vault=verad(0,0,90-A)|E;
use &,vm(2),vt(2),
  vh(0,3*Rt,-Rt, 0,0,Rt, 0,1,Rt);
clear; draw Vault;
```

برنامه^{۷۲} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۷۲

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 72: Compound barrel vault.
See Section 1.8 of Reference 1. (*)
S=20; (*) Span (*)
H=7; (*) Rise (*)
L=36; (*) Length (*)
m=6; (*) Frequency in U2 direction (*)
n=8; (*) Frequency in U3 direction (*)
A=2*atan|(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin|A); (*) Radius (*)
E=rinit(m,n,2,2)|lamit(1,1)|[1,0,0; 1,1,1]#
  rinit(m,n+1,2,2)|[1,0,0; 1,2,0]#
  rinit(2,n,2*m,2)|[1,0,0; 1,0,2];
F=bc(R,A/m,L/(2*n))|E;
Vault=rin(1,2,S)|verad(0,0,90-A)|F;
use &,vm(2),vt(2),
  vh(S/2,6*R,-3*R, S/2,0,R, S/2,1,R);
clear; draw Vault;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۷۳

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 73: Compound barrel vault.
See Section 1.8 of Reference 1. (*)
S=16; (*) Span of each barrel vault (*)
H=4; (*) Rise (*)
L=40; (*) Length (*)
m=6; (*) Frequency
in U2 direction, m must be even (*)
n=10; (*) Frequency
in U3 direction, n must be even (*)
A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin|A); (*) Radius (*)
mm=ric|(m/2); nn=ric|(n/2);
E=lux(rin(3,nn,2)|[1,mm,1])|
(rinit(m,n+1,1,1)|[1,0,0; 1,1,0])#
rinit(m+1,n,1,1)|[1,0,0; 1,0,1])#
lamit(mm,nn)|rinit(mm,ric|(nn/2),1,2)|
lam(3,1)|[1,0,1; 1,1,0]);
F=bc(R,2*A/m,L/n)|E;
Vault=rin(1,3,S)|verad(0,0,90-A)|F;
use &,vm(2),vt(2),
vh(S,8*R,-4*R, S,0,R, S,1,R);
clear; draw Vault;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۷۴

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 74: Sidebent annular barrel
vault with binate pattern.
See Section 3.4 of Reference 3. (*)
S=24; (*) Span of barrel vault (*)
H=6; (*) Rise of barrel vault (*)
m=20; (*) Frequency in U2 direction (*)
n=10; (*) Frequency in U4 direction (*)
R=60; (*) Radius of annulus (*)
T=60; (*) Central angle
containing the barrel vault (*)
A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
Q=S/(2*sin|A); (*) Radius of
cross-section of annulus (*)
E=rinic(2,4,m,n+1,1,1)|[1,0,1,-n/2;
1,1,1,-n/2]|#rinic(2,4,m+1,n,1,1)|
[1,0,1,-n/2; 1,0,1,1-n/2];
Vault=dep(4)|ba(R,T/m,Q,2*A/n)|E;
use &,vm(2),vt(2),
vh(R/2,2*R,1.5*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Vault;
```

برنامه^۴ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۷۵

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 75: Sidebent annular barrel
vault with lamella (obnate) pattern.
See Section 3.4 of Reference 3. (*)
S=28; (*) Span of barrel vault (*)
H=8; (*) Rise of barrel vault (*)
m=16; (*) Frequency in U2 direction (*)
n=8; (*) Frequency in U4 direction (*)
R=70; (*) Radius of annulus (*)
T=50; (*) Central angle
containing the barrel vault (*)
A=2*atan|(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
Q=S/(2*sin|A); (*) Radius of
cross-section of annulus (*)
E=rinic(2,4,m,n,2,2)|lam(4,1-n)|lam(2,1)|
[1,0,1,-n; 1,1,1,1-n]#
rinic(2,4,m,2,2,2*n)|
[1,0,1,-n; 1,2,1,-n]#
rinic(2,4,2,n,2*m,2)|
[1,0,1,-n; 1,0,1,2-n];
Vault=dep(4)|ba(R,T/(2*m),Q,A/n)|E;
use &,vm(2),vt(2),
vh(R,2*R,2*R,0,0,0,0,0,1);
clear; draw Vault;
```

برنامه^۴ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۷۶

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 76: Sidebent horseshoe
annular barrel vault with binate pattern.
See Section 3.4 of Reference 3. (*)
S=60; (*) Span of barrel vault (*)
H=15; (*) Rise of barrel vault (*)
m=48; (*) Frequency in U2 direction (*)
n=7; (*) Frequency in U4 direction (*)
R=90; (*) Radius of annulus (*)
T=270; (*) Central angle
containing the barrel vault (*)
A=2*atan|(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
Q=S/(2*sin|A); (*) Radius of
cross-section of annulus (*)
E=rinic(2,4,m,n+1,1,1)|
[1,0,1,-n/2; 1,1,1,-n/2]#
rinic(2,4,m+1,n,1,1)|
[1,0,1,-n/2; 1,0,1,1-n/2];
Vault=dep(4)|ba(R,T/m,Q,2*A/n)|E;
use &,vm(2),vt(2),
vh(2*R,2*R,4*R,0,0,0,0,0,1);
clear; draw Vault;
```

برنامه^۴ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۷۷

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 77: Sidebent annular ring
barrel vault with lamella (obnate) pattern.
See Section 3.4 of Reference 3. (*)
S=50; (*) Span of barrel vault (*)
H=15; (*) Rise of barrel vault (*)
m=30; (*) Frequency in U2 direction (*)
n=5; (*) Frequency in U4 direction (*)
R=80; (*) Radius of annulus (*)
T=360; (*) Central angle
containing the barrel vault (*)
A=2*atan|(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
Q=S/(2*sin|A); (*) Radius of
cross-section of annulus (*)
E=rinic(2,4,m,n,2,2)|lam(4,1-n)|lam(2,1)|
[1,0,1,-n; 1,1,1,1-n]#
rinic(2,4,m,2,2,2*n)|
[1,0,1,-n; 1,2,1,-n];
Vault=dep(4)|ba(R,T/(2*m),Q,A/n)|E;
use &,vm(2),vt(2),
vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Vault;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۷۸

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 78: Outbent annular
barrel vault with lamella (obnate) pattern
and additional ribs.
See Section 3.4 of Reference 3. (*)
S=48; (*) Span of barrel vault (*)
H=10; (*) Rise of barrel vault (*)
m=12; (*) Frequency in U2 direction (*)
n=5; (*) Frequency in U4 direction (*)
R=50; (*) Radius of annulus (*)
T=90; (*) Central angle
containing the barrel vault (*)
A=2*atan|(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
Q=S/(2*sin|A); (*) Radius of
cross-section of annulus (*)
E=rinic(2,4,m,n,2,2)|lam(4,1-n)|lam(2,1)|
[1,0,1,-n; 1,1,1,1-n]#
rinic(2,4,m,2,2,2*n)|
[1,0,1,-n; 1,2,1,-n]#
rinic(2,4,m+1,n,2,2)|
[1,0,1,-n; 1,0,1,2-n];
E=tran(4,n*90/A)|E;
Vault=dep(4)|ba(R,T/(2*m),Q,A/n)|E;
use &,vm(2),vt(2),
vh(5*R,10*R,5*R, 0,0,0, 1,1,0);
clear; draw Vault;
```

برنامه^{۷۹} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۷۹

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 79: Compound outbent
annular barrel vault with lamella pattern.
See Section 3.5 of Reference 3. (*)
S=48;  (*) Span of barrel vault (*)
H=12;  (*) Rise of barrel vault (*)
m=10;  (*) Frequency in U2 direction (*)
n=5;   (*) Frequency in U4 direction (*)
R=50;  (*) Radius of annulus (*)
T=90;  (*) Central angle
          containing the barrel vault (*)
A=2*atan|(2*H/S);  (*) Sweep angle (*)
Q=S/(2*sin|A);  (*) Radius of
          cross-section of annulus (*)
E=rinic(2,4,m,n,2,2)|lam(4,1-n)|lam(2,1)|
  [1,0,1,-n; 1,1,1,1-n]#
  rinic(2,4,m,2,2,2*n)|[1,0,1,-n; 1,2,1,-n]#
  rinic(2,4,2,n,2*m,2)|[1,0,1,-n; 1,0,1,2-n];
E=tran(4,n*90/A)|E;
B=dep(4)|ba(R,T/(2*m),Q,A/n)|E;
Vault=rin(3,3,S)|B;
use &,vm(2),vt(2),
  vh(5*R,10*R,5*R, 0,0,0, 1,1,0);
clear; draw Vault;
```

برنامه^{۸۰} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۸۰

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 80: Inbent annular barrel
vault with binate pattern.
See Section 3.4 of Reference 3. (*)
S=40;  (*) Span of barrel vault (*)
H=8;   (*) Rise of barrel vault (*)
m=16;  (*) Frequency in U2 direction (*)
n=7;   (*) Frequency in U4 direction (*)
R=100; (*) Radius of annulus (*)
T=90;  (*) Central angle
          containing the barrel vault (*)
A=2*atan|(2*H/S);  (*) Sweep angle (*)
Q=S/(2*sin|A);  (*) Radius of
          cross-section of annulus (*)
E=rinic(2,4,m,n+1,1,1)|
  [1,0,1,-n/2; 1,1,1,-n/2]#
  rinic(2,4,m+1,n,1,1)|
  [1,0,1,-n/2; 1,0,1,1-n/2];
F=tran(4,-n*90/(2*A))|E;
Vault=dep(4)|ba(R,T/m,Q,2*A/n)|F;
use &,vm(2),vt(2),
  vh(1.5*R,1.5*R,R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Vault;
```

برنامه^{۸۱} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۸۱

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 81: Compound inbent annular barrel vault with binate pattern.
 See Section 3.5 of Reference 3. (*)
 S=40; (*) Span of barrel vault (*)
 H=8; (*) Rise of barrel vault (*)
 m=16; (*) Frequency in U2 direction (*)
 n=7; (*) Frequency in U4 direction (*)
 R=100; (*) Radius of annulus (*)
 T=90; (*) Central angle
 containing the barrel vault (*)
 A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
 Q=S/(2*sin|A); (*) Radius of
 cross-section of annulus (*)
 E=rinic(2,4,m,n+1,1,1)|
 [1,0,1,-n/2; 1,1,1,-n/2]#
 rinic(2,4,m+1,n,1,1)|
 [1,0,1,-n/2; 1,0,1,1-n/2];
 F=tran(4,-n*90/(2*A))|E;
 G=dep(4)|ba(R,T/m,Q,2*A/n)|F;
 Vault=rin(3,3,S)|G;
 use &,vm(2),vt(2),
 vh(6*R,6*R,8*R, 0,0,0, 0,0,1);
 clear; draw Vault;

برنامه^۴ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۸۲

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 82: Double layer inbent annular barrel vault with binate on binate pattern. See Section 3.4 of Reference 3. (*)
 $S=45$; (*) Span of top layer (*)
 $H=6$; (*) Rise of top layer (*)
 $D=2$; (*) Depth of barrel vault (*)
 $m=8$; (*) Top layer frequency along U2 (*)
 $n=5$; (*) Top layer frequency along U4 (*)
 $R=100$; (*) Radius of annulus (*)
 $TT=70$; (*) Central angle containing the top layer of barrel vault (*)
 $A=2*\text{atan}[(2*H/S)]$; (*) Sweep angle (*)
 $Qt=S/(2*\sin|A)$; (*) Radius of top layer cross-section of annulus (*)
 $Qb=Qt-D$;
 $T=\text{rinic}(2,4,m,n+1,2,2)|$
 $[1,0,Qt,-n; 1,2,Qt,-n]\#$
 $\text{rinic}(2,4,m+1,n,2,2)|$
 $[1,0,Qt,-n; 1,0,Qt,2-n];$
 $B=\text{rinic}(2,4,m-1,n,2,2)|$
 $[1,1,Qb,1-n; 1,3,Qb,1-n]\#$
 $\text{rinic}(2,4,m,n-1,2,2)|$
 $[1,1,Qb,1-n; 1,1,Qb,3-n];$
 $W=\text{rinic}(2,4,m,n,2,2)|\text{lamic}(2,4,1,1-n)|$
 $[1,0,Qt,-n; 1,1,Qb,1-n];$
 $E=\text{tran}(4,-2*n*90/(2*A))|(T\#B\#W);$
 $\text{Vault}=\text{dep}(4)|\text{ba}(R,TT/(2*m),1,A/n)|E;$
 $\text{use } \&, \text{vm}(2), \text{vt}(2),$
 $\text{vh}(2*R,1.5*R,R, 0,0,0, 0,0,1);$
 $\text{clear}; \text{ draw Vault};$

برنامه^۴ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۸۳ و ۸۴

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 83 ($R1=16, R2=10$) and Fig 84 ($R1=10, R2=15$): Parabolic barrel vault. See Section 2.3 of Reference 2. (*)
 $R1=16$; (*) Radius at the ends (*)
 $R2=10$; (*) Radius at the middle (*)
 $L=36$; (*) Length of barrel vault (*)
 $P=60$; (*) Sweep angle (*)
 $m=12$; (*) Frequency in U2 direction (*)
 $n=20$; (*) Frequency in U3 direction (*)
 $a=4*(R1-R2)/L^2$; $b=-a*L$;
 $c=R1$; $d=L/n$;
 $E=\text{rin}(2,m,1)|\text{lib}(i=0,n)|$
 $[a*(d*i)^2+b*d*i+c,0,i;$
 $a*(d*i)^2+b*d*i+c,1,i]\#$
 $\text{rin}(2,m+1,1)|\text{lib}(i=0,n-1)|$
 $[a*(d*i)^2+b*d*i+c,0,i;$
 $a*(d*(i+1))^2+b*d*(i+1)+c,0,i+1];$
 $\text{Vault}=\text{verad}(0,0,90-P)|\text{bc}(1,2*P/m,d)|E;$
 $\text{use } \&, \text{vm}(2), \text{vt}(2),$
 $\text{vh}(L,3*L,-L, 0,0,L, 0,1,L);$
 $\text{clear}; \text{ draw Vault};$

برنامه فرمینی برای تاشه های شبیه به شکل های ۸۵ و ۸۶

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 85 (R1=16, R2=12) and
Fig 86 (R1=12, R2=16):
Hyperboloidal barrel vault.
See Section 3.3.2 of Reference 3. (*)
R1=16; (*) Radius at the ends (*)
R2=11; (*) Radius at the middle (*)
L=36; (*) Length of barrel vault (*)
A=60; (*) Sweep angle (*)
m=4; (*) Circumferential semifrequency (*)
n=6; (*) Longitudinal semifrequency (*)
P=(R1^2-R2^2)/(L/2)^2; (*) Pitch (*)
E=pex|lamit(0,0)|rinit(m,n,1,1)|
(rosat(0.5,0.5)|[1,0,0; 1,1,0]#
[1,0,1; 1,1,0]);
F=bh(R2,A/m,L/(2*n),P)|E;
Vault=verad(0,0)|F;
use &, vm(2),vt(2),
vh(L,3*L,-L, 0,0,L, 0,1,L);
clear; draw Vault;
```

برنامه فرمینی برای تاشه های شبیه به شکل ۸۷ و ۸۸

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 87 (C=3, parabolic) and
Fig 88 (C=4, Wedge-shaped): Pellevated
honeycomb grid.
See References 4, 5 and 6. (*)
S=20; (*) Span (*)
L=24; (*) Length (*)
H=7; (*) Rise (*)
m=6; (*) Circuferential frequency,
number of hexagons in the second row (*)
n=7; (*) Longitudinal frequency,
number of hexagons along the sides (*)
C=3; (*) Pellevation code (*)
E=rinid(m,n,6,2)|lamid(2,2)|[1,1,0; 0,2,0]#
rinid(m,n+1,6,2)|[1,1,0; 3,1,0]#
rin(1,m-1,6)|lamid(5,n+1)|[4,0,0; 3,1,0]#
rinid(m-1,n+2,6,2)|[4,0,0; 6,0,0];
Grid=bb(S/(6*m-2),L/(2*(n+1)))|E;
Vault=bapel(C,S/2,0,S/2,1,S,H)|Grid;
use &,vm(2),vt(2),vh(L/2,-2*L,3*L,
S/2,L/2,0, S/2,L/2,1);
clear; draw Vault;
```

برنامه^۱ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۸۹ و ۹۰

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 89 (C=3, parabolic) and Fig 90 (C=4, Wedge-shaped): Pellevated trussed lamella double layer barrel vault.

See References 4, 5 and 6. (*)

```
S=20;  (*) Span (*)
L=20;  (*) Length (*)
D=2;   (*) Depth of grid (*)
H=6;   (*) Rise (*)
m=4;   (*) Circuferential frequency (*)
n=4;   (*) Longitudinal frequency (*)
C=3;   (*) Pellevation code (*)
T=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,1; 1,1,1]#
  rinid(m,2,2,2*n)|[0,0,1; 2,0,1]#
  rinid(2,n,2*m,2)|[0,0,1; 0,2,1];
B=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,0]#
  rinid(m,2,2,2*n)|[0,0,0; 2,0,0]#
  rinid(2,n,2*m,2)|[0,0,0; 0,2,0];
E=lam(3,0.5)|{[0,0,0; 0.5,0.5,0.5],
  [0.5,0.5,0.5; 1,1,0]}#
  {[0,0,1; 0,0,0], [1,1,1; 1,1,0]};
F=lamis(1,0.5)|[0,0,0; 1,0,0.5]#
  lam(1,1)|[0,0,0; 0,0,1];
W=pex|(rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|E#
  rinid(m,2,2,2*n)|F#rinid(2,n,2*m,2)|
  verad(0,0)|F);
Grid=bt(S/(2*m),L/(2*n),D)|(T#B#W);
Vault=bapel(C,S/2,0,S/2,1,S,H)|Grid;
use &,vm(2),vt(2),vh(L/2,-2*L,4*L,
  S/2,L/2,0, S/2,L/2,1);
clear; draw Vault;
```

برنامه^۲ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۹۱

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 91: Ribbed dome.

See Section 1.9 of Reference 1. (*)

```
S=36;  (*) Span (*)
H=6;   (*) Rise (*)
m=24;  (*) Frequency of
          elements on a ring (*)
n=9;   (*) Frequency of elements on a rib (*)
A=2*atan|(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin|A); (*) Radius (*)
E=rinit(m,n-1,1,1)|{[1,0,1; 1,1,1],
  [1,0,1; 1,0,2]}#rin(2,m,1)|{[1,0,0; 1,0,1],
  [1,0,n; 1,1,n]};
Dome=bs(R,360/m,A/n)|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۹۲

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 92: Trimmed ribbed dome.
See Section 1.9 of Reference 1. (*)
S=36; (*) Span (*)
H=6; (*) Rise (*)
m=24; (*) Frequency of elements
on a ring, must be even (*)
n=9; (*) Frequency of elements on a rib (*)
A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin|A); (*) Radius (*) p=ric(m/2);
E=rinit(m,n-1,1,1){[1,0,1; 1,1,1],
[1,0,1; 1,0,2]}#rin(2,m,1){[1,0,0; 1,0,1],
[1,0,n; 1,1,n]};
E=lux(rin(2,p,2)|[1,0,1])E#
rin(2,p,2)|[1,1,1; 1,3,1];
Dome=bs(R,360/m,A/n)E;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۹۳

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 93: Schwedler dome.
See Section 1.9 of Reference 1. (*)
S=36; (*) Span (*)
H=6; (*) Rise (*)
m=16; (*) Frequency of
elements on a ring (*)
n=8; (*) Frequency of elements on a rib (*)
A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin|A); (*) Radius (*)
E=rinit(m,n-1,1,1){[1,0,1; 1,1,1],
[1,0,1; 1,0,2], [1,0,1; 1,1,2]}#rin(2,m,1)|
{[1,0,0; 1,0,1], [1,0,n; 1,1,n]};
Dome=bs(R,360/m,A/n)E;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^۴ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۹۴

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 94: Trimmed Schwedler
(*). dome. See Section 1.9 of Reference 1
S=36;  (*) Span (*)
H=6;   (*) Rise (*)
m=16;  (*) Frequency of
elements on a ring, must be even (*)
n=8;   (*) Frequency of elements on a rib (*)
A=2*atan|(2*H/S);  (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin|A);  (*) Radius (*)  p=ric|(m/2);
E=rinit(m,n-1,1,1)|{[1,0,1; 1,1,1],
[1,0,1; 1,0,2]};#rin(2,m,1)|{[1,0,0; 1,0,1],
[1,0,n; 1,1,n]};
E=lux(rin(2,p+1,2)|[1,0,1])|E#rin(2,p,2)|
[1,1,1; 1,3,1];
E=E#rin(2,p,2)|[1,1,1; 1,3,2]#
rinit(m,n-2,1,1)|[1,0,2; 1,1,3];
Dome=bs(R,360/m,A/n)|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^۵ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۹۵

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 95: Schwedler dome.
See Section 1.9 of Reference 1. (*)
S=36;  (*) Span (*)
H=6;   (*) Rise (*)
m=16;  (*) Frequency of
elements on a ring, must be even (*)
n=7;   (*) Frequency of elements on a rib (*)
A=2*atan|(2*H/S);  (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin|A);  (*) Radius (*)
E=rinit(m,n,1,1)|{[1,0,1; 1,1,1],
[1,0,1; 1,0,2]};#rin(2,m,1)|{[1,0,0; 1,0,1],
[1,0,n+1; 1,1,n+1]};#
rinit(ric|(m/2),n,2,1)|lam(2,1)|[1,0,1; 1,1,2];
Dome=bs(R,360/m,A/(n+1))|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۹۶

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 96: Schwedler dome.
See Section 1.9 of Reference 1. (*)
S=36;  (*) Span (*)
H=6;   (*) Rise (*)
m=18;  (*) Frequency of
elements on a ring, must be even (*)
n=9;   (*) Frequency of
elements on a rib, must be odd (*)
A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin(A));  (*) Radius (*)
E=rinit(m,n-1,1,1){[1,0,1; 1,1,1],
[1,0,1; 1,0,2]}#rin(2,m,1){[1,0,0; 1,0,1],
[1,0,n; 1,1,n]}#rinit(ric|(m/2),tic|(n/2),2,2)|
lomit(1,2)|[1,1,1; 1,2,2];
Dome=bs(R,360/m,A/n)E;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۹۷

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 97: Schwedler dome.
See Section 1.9 of Reference 1. (*)
S=36;  (*) Span (*)
H=6;   (*) Rise (*)
m=18;  (*) Frequency of
elements on a ring, must be even (*)
n=8;   (*) Frequency of
elements on a rib, must be even (*)
A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin(A));  (*) Radius (*)
E=rinit(m,n-1,1,1){[1,0,1; 1,1,1],
[1,0,1; 1,0,2]}#rin(2,m,1){[1,0,0; 1,0,1],
[1,0,n; 1,1,n]}#rinit(ric|(m/2),ric|(n/2),2,2)|
{[1,1,1; 1,2,2], [1,1,2; 1,2,1]}#
rinit(ric|(m/2),ric|(n/2)-1,2,2)|
{[1,2,2; 1,3,3], [1,2,3; 1,3,2]};
Dome=bs(R,360/m,A/n)E;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^{۹۸} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۹۸

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 98: Double layer ribbed
canopy dome.
See Section 1.9 of Reference 1. (*)
S=60;  (*) Span of top layer (*)
P=25;  (*) Gap diameter (*)
D=2;   (*) Depth (*)
A=40;  (*) Sweep angle (*)
m=24;  (*) Frequency of
          elements on a ring (*)
n=3;   (*) Frequency of elements on a rib (*)
R=S/(2*sin|A);  (*) Top radius (*)
Rb=R-D;        (*) Bottom radius (*)
G=asin(P/(2*R));  (*) Gap angle (*)
i=(A-G)/(2*n);  (*) increment (*)
T=rinit(m,n+1,2,2*i)|[R,0,G; R,2,G]#
  rinit(m,n,2,2*i)|[R,0,G; R,0,G+2*i];
B=rinit(m,n,2,2*i)|[Rb,1,G+i; Rb,3,G+i]#
  rinit(m,n-1,2,2*i)|[Rb,1,G+i; Rb,1,G+3*i];
W=rinit(m,n,2,2*i)|lamit(1,G+i)|
  [R,0,G; Rb,1,G+i];
Dome=bs(1,360/(2*m),1)|(T#B#W);
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,4*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^{۹۹} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۹۹

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 99: Lamella dome.
See Section 1.9 of Reference 1. (*)
S=36;  (*) Span (*)
H=5;   (*) Rise (*)
m=16;  (*) Frequency of
          rhombuses in U2 direction (*)
n=5;   (*) Frequency of
          rhombuses in U3 direction (*)
A=2*atan|(2*H/S);  (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin|A);  (*) Radius (*)
E=rinit(m,n,2,2)|lamit(0,1)|[1,0,0; 1,1,1];
Dome=pex|bs(R,360/(2*m),A/n)|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,4*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۰۰

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 100: Lamella dome.
See Section 1.9 of Reference 1. (*)
S=36;  (*) Span (*)
H=5;   (*) Rise (*)
m=16;  (*) Frequency of
        rhombuses in U2 direction (*)
n=5;   (*) Frequency of
        rhombuses in U3 direction (*)
A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin(A));  (*) Radius (*)
E=pex|rinit(m,n,2,2)|(lamit(0,1)|
  [1,0,0; 1,1,1]#[1,1,1; 1,-1,1]);
Dome=bs(R,360/(2*m),A/n)|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,4*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۰۱

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 101: Trimmed lamella dome.
See Section 1.9 of Reference 1. (*)
S=36;  (*) Span (*)
H=4;   (*) Rise (*)
m=24;  (*) Frequency of rhombuses
        in U2 direction, m must be even (*)
n=6;   (*) Frequency of rhombuses
        in U3 direction, n must be larger than 3 (*)
p=ric(m/2);
A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin(A));  (*) Radius (*)
E=rinit(m, n-3,2,2)|lamit(0,7)|[1,0,6; 1,1,7];
F=rinit(p,3,4,2)|lamit(0,1)|[1,0,0; 1,2,1];
G=E#F#rinit(m,2,2,2*(n-3))|[1,0,6; 1,2,6]#
  rin(2,p,4)|[1,2,6; 1,2,5];
Dome=pex|bs(R,360/(2*m),A/n)|G;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,4*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^۴ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۱۰۲ و ۱۰۳

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 102 (f=1.2) and
Fig 103 (f=1.4): Ovate dome.
See Section 1.9 of Reference 1. (*)
S=36;  (*) Span (*)
H=8;  (*) Rise (*)
f=1.2;  (*) Factor for
scaling of half the dome (*)
A=2*atan(2*H/S);  (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin(A));  (*) Radius (*)
E1=rin(2,3,4)|{[1,0,0; 1,0,1], [1,0,1; 1,4,1],
[1,0,1; 1,0,2], [1,0,1; 1,2,2],
[1,2,2; 1,4,1]};#rin(2,6,2)|{[1,0,2; 1,2,2],
[1,0,2; 1,0,3], [1,0,2; 1,2,3]};#
rin(2,6,2)|{[1,0,3; 1,2,3], [1,0,3; 1,0,4],
[1,0,3; 1,1,4], [1,1,4; 1,2,3]};
E2=rinit(12,3,1,1)|{[1,0,4; 1,1,4],
[1,0,4; 1,0,5], [1,0,4; 1,1,5]};
E3=E1#E2#rin(2,12,1)|[1,0,7; 1,1,7];
E4=bs(R,360/24,A/7)|E3;
Dome=E4#bb(1,f)|refid(0,0)|E4;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,0,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^۴ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۰۴

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 104: Diamatic dome.
See Section 2.5 of Reference 2. (*)
R=36;  (*) Radius of circumsphere (*)
A=40;  (*) Sweep angle (*)
m=7;  (*) Frequency (*)
n=6;  (*) Number of sectors (*)
E=genit(1,m,1,1,0,1)|{[1,0,0; 1,0,1],
[1,0,0; 1,1,1], [1,0,1; 1,1,1]};
F=bd(R,360/n,A/m)|E;
Dome=pex|rosad(0,0,n,360/n)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```


برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۰۵

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 105: Diamatic dome.
See Section 2.5 of Reference 2. (*)
R=36;    (*) Radius of circumsphere (*)
A=45;    (*) Sweep angle (*)
m=8;     (*) Frequency (*)
n=7;     (*) Number of sectors (*)
E=genit(1,m,3,3,0,1)|{[1,0,0; 1,1,2],
[1,1,2; 1,0,3], [1,1,2; 1,3,3]};
F=bd(R,360/n,A/(3*m))|E;
Dome=rosad(0,0,n,360/n)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۰۶

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 106: Diamatic dome.
See Section 2.5 of Reference 2. (*)
R=36;    (*) Radius of circumsphere (*)
A=45;    (*) Sweep angle (*)
m=7;     (*) Frequency (*)
n=7;     (*) Number of sectors (*)
E=genit(1,m,3,3,0,1)|{[1,2,4; 1,1,2],
[1,2,4; 1,1,5], [1,2,4; 1,4,5]};#
rin(3,m+1,3)|[1,1,2; 1,-1,2];
F=bd(R,360/n,A/(3*m))|E;
Dome=rosad(0,0,n,360/n)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۰۷

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 107: Diamatic dome.
See Section 2.5 of Reference 2. (*)
R=36;    (*) Radius of circumsphere (*)
A=40;    (*) Sweep angle (*)
m=9;     (*) Frequency (*)
n=6;     (*) Number of sectors (*)
E=genit(1,m,1,1,0,1)|{[1,0,0; 1,0,1],
[1,0,0; 1,1,1], [1,0,1; 1,1,1]};
Hole={[1,2,4], [1,2,7], [1,5,7]};
F=bd(R,360/n,A/m)|lux(Hole)|E;
Dome=pex|rosad(0,0,n,360/n)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^{۱۰۸} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۰۸

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 108: Diamatic dome.
See Section 2.5 of Reference 2. (*)
R=36;  (*) Radius of circumsphere (*)
A=45;  (*) Sweep angle (*)
m=8;   (*) Frequency (*)
n=7;   (*) Number of sectors (*)
E=genit(1,m,3,3,0,1){[1,0,0; 1,1,2],
 [1,1,2; 1,0,3], [1,1,2; 1,3,3]};
Hole=rin(2,5,3)[1,6,24]#rin(2,2,3)[1,9,21]#
 {[1,10,20], [1,7,23], [1,16,23]};
F=bd(R,360/n,A/(3*m))|lux(Hole)|E;
Dome=rosad(0,0,n,360/n)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^{۱۰۹} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۱۰۹ و ۱۱۰

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 109 (f1=1.15, f2=0.85) and
Fig 110 (f1=1.35, f2=1.05):
Ovate diamatic dome.
See Section 2.5 of Reference 2. (*)
R=36;  (*) Initial radius of circumsphere (*)
A=50;  (*) Sweep angle (*)
m=8;   (*) Frequency (*)
f1=1.15; (*) Scale factor for 1st half (*)
f2=0.85; (*) Scale factor for 2nd half (*)
n1=4;  (*) Number of sectors in 1st half (*)
n2=3;  (*) Number of sectors in 1st half (*)
E=genit(1,m,3,3,0,1){[1,0,0; 1,1,2],
 [1,1,2; 1,0,3], [1,1,2; 1,3,3]};
E1=bd(R,180/n1,A/(3*m))|E;
E2=bd(R,180/n2,A/(3*m))|E;
Dome=dil(2,f1)|rosad(0,0,n1,180/n1)|E1#
dil(2,f2)|ref(2,0)|rosad(0,0,n2,180/n2)|E2;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,0,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۱۱

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 111: Double layer diatomic
dome. See Section 2.5 of Reference 2. (*)
R=36; (*) Radius of top circumsphere (*)
Rb=34.5; (*) Radius of
bottom circumsphere (*)
A=45; (*) Sweep angle (*)
m=3; (*) Frequency of top layer (*)
n=6; (*) Number of sectors (*)
T=genit(1,m,3,3,0,1)|{[R,0,0; R,0,3],
[R,0,0; R,3,3], [R,0,3; R,3,3]};
B=genit(1,m-1,3,3,0,1)|{[Rb,2,4; Rb,1,2],
[Rb,2,4; Rb,1,5], [Rb,2,4; Rb,4,5]}#
rin(3,m,3)|[Rb,1,2; Rb,-1,2];
W=genit(1,m,3,3,0,1)|{[Rb,1,2; R,0,0],
[Rb,1,2; R,0,3], [Rb,1,2; R,3,3]}#
genit(1,m-1,3,3,0,1)|{[Rb,2,4; R,3,6],
[Rb,2,4; R,0,3], [Rb,2,4; R,3,3]};
F=bd(1,360/n,A/(3*m))|(T#B#W);
Dome=pex|rosad(0,0,n,360/n)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۱۲

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 112: Scallop dome.
See Reference 12. (*)
R=36; (*) Radius of circumsphere (*)
A=45; (*) Sweep angle (*)
m=8; (*) Frequency (*)
n=6; (*) Number of sectors (*)
C=1; (*) Code (*)
D=9; (*) Amplitude (*)
P=0; (*) Prominence (*)
nn=360/n;
E=genit(1,m,1,1,0,1)|{[1,0,0; 1,0,1],
[1,0,0; 1,1,1], [1,0,1; 1,1,1]};
F=sbd(C,nn,[R,m,D,P],1,nn,A/m)|E;
Dome=pex|rosad(0,0,n,nn)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,2*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^{۱۱۳} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۱۳

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 113: Scallop dome.
See Reference 12. (*)
R=36;    (*) Radius of circumsphere (*)
A=70;    (*) Sweep angle (*)
m=7;     (*) Frequency (*)
n=8;     (*) Number of sectors (*)
C=1;     (*) Code (*)
D=15;    (*) Amplitude (*)
P=0;     (*) Prominence (*)
nn=360/n;
E=genit(1,m,1,1,0,1){[1,0,0; 1,0,1],
  [1,0,0; 1,1,1], [1,0,1; 1,1,1]};
F=sbd(C,nn,[R,m,D,P],1,nn,A/m)|E;
Dome=pex|rosad(0,0,n,nn)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^{۱۱۴} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۱۴

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 114: Scallop dome.
See Reference 12. (*)
R=36;    (*) Radius of circumsphere (*)
A=70;    (*) Sweep angle (*)
m=8;     (*) Frequency (*)
n=5;     (*) Number of sectors (*)
C=1;     (*) Code (*)
D=8;     (*) Amplitude (*)
P=15;    (*) Prominence (*)
nn=360/n;
E=genit(1,m,1,1,0,1){[1,0,0; 1,0,1],
  [1,0,0; 1,1,1], [1,0,1; 1,1,1]};
F=sbd(C,nn,[R,m,D,P],1,nn,A/m)|E;
Dome=pex|rosad(0,0,n,nn)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۱۵

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 115: Scallop dome.
See Reference 12. (*)
R=36;    (*) Radius of circumsphere (*)
A=32;    (*) Sweep angle (*)
m=7;     (*) Frequency (*)
n=12;    (*) Number of sectors (*)
C=1;     (*) Code (*)
D=4;     (*) Amplitude (*)
P=0;     (*) Prominence (*)
nn=360/n;
E=genit(1,m,1,1,0,1)|{[1,0,0; 1,0,1],
  [1,0,0; 1,1,1], [1,0,1; 1,1,1]};
F=sbd(C,nn,[R,m,D,P],1,nn,A/m)|E;
Dome=pex|rosad(0,0,n,nn)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,2*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۱۶

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 116: Scallop dome.
See Reference 12. (*)
R=36;    (*) Radius of circumsphere (*)
A=45;    (*) Sweep angle (*)
m=8;     (*) Frequency (*)
n=6;     (*) Number of sectors (*)
C=2;     (*) Code (*)
D=10;    (*) Amplitude (*)
P=0;     (*) Prominence (*)
nn=360/n;
E=genit(1,m,1,1,0,1)|{[1,0,0; 1,0,1],
  [1,0,0; 1,1,1], [1,0,1; 1,1,1]};
F=sbd(C,nn,[R,m,D,P],1,nn,A/m)|E;
Dome=pex|rosad(0,0,n,nn)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,2*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^۱ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۱۷

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 117: Scallop dome.
See Reference 12. (*)
R=36;    (*) Radius of circumsphere (*)
A=60;    (*) Sweep angle (*)
m=7;     (*) Frequency (*)
n=8;     (*) Number of sectors (*)
C=2;     (*) Code (*)
D=6;     (*) Amplitude (*)
P=0;     (*) Prominence (*)
nn=360/n;
E=genit(1,m,1,1,0,1){[1,0,0; 1,0,1],
  [1,0,0; 1,1,1], [1,0,1; 1,1,1]};
F=sbd(C,nn,[R,m,D,P],1,nn,A/m)|E;
Dome=pex|rosad(0,0,n,nn)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,2*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^۲ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۱۸

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 118: Scallop dome.
See Reference 12. (*)
R=36;    (*) Radius of circumsphere (*)
A=45;    (*) Sweep angle (*)
m=11;    (*) Frequency (*)
n=3;     (*) Number of sectors (*)
C=2;     (*) Code (*)
D=5;     (*) Amplitude (*)
P=20;    (*) Prominence (*)
nn=360/n;
E=genit(1,m,1,1,0,1){[1,0,0; 1,0,1],
  [1,0,0; 1,1,1], [1,0,1; 1,1,1]};
F=sbd(C,nn,[R,m,D,P],1,nn,A/m)|E;
Dome=pex|rosad(0,0,n,nn)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۱۹

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 119: Scallop dome.
See Reference 12. (*)
R=36;    (*) Radius of circumsphere (*)
A=70;    (*) Sweep angle (*)
m=10;    (*) Frequency (*)
n=2;     (*) Number of sectors (*)
C=2;     (*) Code (*)
D=8;     (*) Amplitude (*)
P=30;    (*) Prominence (*)
nn=360/n;
E=genit(1,m,1,1,0,1)|{[1,0,0; 1,0,1],
[1,0,0; 1,1,1], [1,0,1; 1,1,1]};
F=abd(C,nn,[R,m,D,P],1,nn,A/m)|E;
Dome=pex|rosad(0,0,n,nn)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,4*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۲۰

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 120: Onion dome.
See Section 3.4 of Reference 3. (*)
R=10;    (*) First radius (*)
Q=50;    (*) Second radius (*)
B=40;    (*) Base angle (*)
m=24;    (*) Number of rhombi along U2 (*)
n=8;     (*) Number of rhombi along U3 (*)
V=1;     (*) Vertical scale factor (*)
A=acos|(R/Q)+B;    (*) Sweep angle (*)
P=asin|(R/Q);     (*) Position angle (*)
E=rinic(2,4,m,n,2,-2)|lamic(2,4,1,-1)|
[1,1,1,0; 1,0,1,-1]#rin(2,m,2)|
[1,1,1,-2*n; 1,3,1,-2*n];
F=tran(4,-2*n*P/A)|E;
G=pex|dep(4)|ba(R,360/(2*m),Q,A/(2*n))|F;
Dome=dil(3,V)|G;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,100000*Q,Q, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۲۱

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 121: Onion dome.
See Section 3.4 of Reference 3. (*)
R=10;    (*) First radius (*)
Q=50;    (*) Second radius (*)
B=20;    (*) Base angle (*)
m=18;    (*) Number of rhombi along U2 (*)
n=8;     (*) Number of rhombi along U3 (*)
V=2.5;   (*) Vertical scale factor (*)
A=acos|(R/Q)+B;    (*) Sweep angle (*)
P=asin|(R/Q);     (*) Position angle (*)
E=rinic(2,4,m,n,2,-2)|lamic(2,4,1,-1)|
  [1,1,1,0; 1,0,1,-1]#rin(2,m,2)|
  [1,1,1,-2*n; 1,3,1,-2*n];
F=tran(4,-2*n*P/A)|E;
G=pex|dep(4)|ba(R,360/(2*m),Q,A/(2*n))|F;
Dome=dil(3,V)|G;
use &,vm(2),vt(2),
  vh(0,100000*Q,Q, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۲۲

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 122: Onion dome.
See Section 3.4 of Reference 3. (*)
R=10;    (*) First radius (*)
Q=65;    (*) Second radius (*)
B=60;    (*) Base angle (*)
m=20;    (*) Number of rhombi along U2 (*)
n=8;     (*) Number of rhombi along U3 (*)
V=2.5;   (*) Vertical scale factor (*)
A=acos|(R/Q)+B;    (*) Sweep angle (*)
P=asin|(R/Q);     (*) Position angle (*)
E=rinic(2,4,m,n,2,-2)|lamic(2,4,1,-1)|
  [1,1,1,0; 1,0,1,-1]#rin(2,m,2)|
  [1,1,1,-2*n; 1,3,1,-2*n];
F=tran(4,-2*n*P/A)|E;
G=pex|dep(4)|ba(R,360/(2*m),Q,A/(2*n))|F;
Dome=dil(3,V)|G;
use &,vm(2),vt(2),
  vh(0,100000*Q,Q, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```


برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۲۳

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 123: Onion dome.
See Section 3.4 of Reference 3. (*)
R=10;    (*) First radius (*)
Q=50;    (*) Second radius (*)
B=40;    (*) Base angle (*)
m=24;    (*) Number of rhombi along U2 (*)
n=8;     (*) Number of rhombi along U3 (*)
V=0.5;   (*) Vertical scale factor (*)
A=acos|(R/Q)+B;    (*) Sweep angle (*)
P=asin|(R/Q);     (*) Position angle (*)
E=rinic(2,4,m,n,2,-2)|lamic(2,4,1,-1)|
  [1,1,1,0; 1,0,1,-1]#rin(2,m,2)|
  [1,1,1,-2*n; 1,3,1,-2*n];
F=tran(4,-2*n*P/A)|E;
G=pex|dep(4)|ba(R,360/(2*m),Q,A/(2*n))|F;
Dome=dil(3,V)|G;
use &,vm(2),vt(2),
  vh(0,100000*Q,Q,0,0,0,0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۲۴

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 124: Upcurved mallow
dome. See Section 3.2 of Reference 3. (*)
L=40;    (*) Span of dome (*)
C=20;    (*) Central height (*)
P=0.04;  (*) Pitch (*)
T=-1;    (*) Curving style coefficient (*)
m=7;     (*) Frequency (*)
n=7;     (*) Number of sectors (*)
B=360/(2*n);
D=sqrt|(cos|B^2*L*L/4+C*C);
  (*) D must be lager than C (*)
A=acos|(C/D);  S=D/m;
W=D*sin|A*tan|B;  K=W/m;
E1=genid(1,m,2,S,-1,1)|{[0,0,0,-1,S,0],
  [0,0,0,1,S,0], [-1,S,0,1,S,0]};
E2=verat(0,0,A-90)|E1;
E3=dil(1,K)|E2;
E4=verad(0,0,T*45)|E3;
F=bhp(1,1,1,P)|E4;
Dome=pex|rosad(0,0,n,360/n)|F;
use &,vm(2),vt(2),
  vh(L,L,1.3*L,0,0,0,0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^۱ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۲۵

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 125: Upcurved mallow
dome. See Section 3.2 of Reference 3. (*)
L=40;      (*) Span of dome (*)
C=6;      (*) Central height (*)
P=0.04;   (*) Pitch (*)
T=-1;     (*) Curving style coefficient (*)
m=9;      (*) Frequency (*)
n=3;      (*) Number of sectors (*)
B=360/(2*n);
D=sqrt(cos(B^2*L*L/4+C*C));
      (*) D must be lager than C (*)
A=acos(C/D); S=D/m;
W=D*sin(A*tan(B)); K=W/m;
E1=genid(1,m,2,S,-1,1)|{[0,0,0; -1,S,0],
  [0,0,0; 1,S,0], [-1,S,0; 1,S,0]};
E2=verat(0,0,A-90)|E1;
E3=dil(1,K)|E2;
E4=verad(0,0,T*45)|E3;
F=bhp(1,1,1,P)|E4;
Dome=pex|rosad(0,0,n,360/n)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(L,L,2*L, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^۲ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۲۶

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 126: Upcurved mallow
dome. See Section 3.2 of Reference 3. (*)
L=36;      (*) Span of dome (*)
C=20;     (*) Central height (*)
P=0.05;   (*) Pitch (*)
T=-1;     (*) Curving style coefficient (*)
m=7;      (*) Frequency (*)
n=10;     (*) Number of sectors (*)
B=360/(2*n);
D=sqrt(cos(B^2*L*L/4+C*C));
      (*) D must be lager than C (*)
A=acos(C/D); S=D/m;
W=D*sin(A*tan(B)); K=W/m;
E1=genid(1,m,2,S,-1,1)|{[0,0,0; -1,S,0],
  [0,0,0; 1,S,0], [-1,S,0; 1,S,0]};
E2=verat(0,0,A-90)|E1;
E3=dil(1,K)|E2;
E4=verad(0,0,T*45)|E3;
F=bhp(1,1,1,P)|E4;
Dome=pex|rosad(0,0,n,360/n)|F;
use &,vm(2),vt(2),
  vh(L,L,1.7*L, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۲۷

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 127: Downcurved mallow
dome. See Section 3.2 of Reference 3. (*)
L=36;      (*) Span of dome (*)
C=1.5;    (*) Central height (*)
P=0.03;   (*) Pitch (*)
T=1;      (*) Curving style coefficient (*)
m=7;      (*) Frequency (*)
n=8;      (*) Number of sectors (*)
B=360/(2*n);
D=sqrt((cos|B^2*L*L/4+C*C);
      (*) D must be lager than C (*)
A=acos|(C/D); S=D/m;
W=D*sin|A*tan|B; K=W/m;
E1=genid(1,m,2,S,-1,1)|{[0,0,0; -1,S,0],
[0,0,0; 1,S,0], [-1,S,0; 1,S,0]};
E2=verat(0,0,A-90)|E1;
E3=dil(1,K)|E2;
E4=verad(0,0,T*45)|E3;
F=bhp(1,1,1,P)|E4;
Dome=pex|rosad(0,0,n,360/n)|F;
use &,vm(2),vt(2),vh(L,L,2*L, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۱۲۸ و ۱۲۹

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 128 (n=4) and Fig 129 (n=3):
Downcurved mallow dome.
See Section 3.2 of Reference 3. (*)
L=36;      (*) Span of dome (*)
C=4.5;    (*) Central height (*)
P=0.03;   (*) Pitch (*)
T=1;      (*) Curving style coefficient (*)
m=8;      (*) Frequency (*)
n=4;      (*) Number of sectors (*)
B=360/(2*n);
D=sqrt((cos|B^2*L*L/4+C*C);
      (*) D must be lager than C (*)
A=acos|(C/D); S=D/m;
W=D*sin|A*tan|B; K=W/m;
E1=genid(1,m,2,S,-1,1)|{[0,0,0; -1,S,0],
[0,0,0; 1,S,0], [-1,S,0; 1,S,0]};
E2=verat(0,0,A-90)|E1;
E3=dil(1,K)|E2;
E4=verad(0,0,T*45)|E3;
F=bhp(1,1,1,P)|E4;
Dome=pex|rosad(0,0,n,360/n)|F;
use &,vm(2),vt(2),
vh(L,3*L,6*L, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^{۱۳۰} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۳۰

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 130: Pellevated dome
(spherical) with binate pattern.
See References 4, 5 and 6. (*)
L1=25; (*) Length in U1 direction (*)
L2=25; (*) Length in U2 direction (*)
m=12; (*) Frequency in U1 direction (*)
n=12; (*) Frequency in U2 direction (*)
S=sqrt(L1^2+L2^2);
      (*) Span of pellevant (*)
R=0.3*S;      (*) Rise of pellevant (*)
E=rinid(m,n+1,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
  rinid(m+1,n,1,1)|[0,0,0; 0,1,0];
Grid=bb(L1/m,L2/n)|E;
Dome=capel(1,L1/2,L2/2,S,R)|Grid;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^{۱۳۱} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۳۱

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 131: Pellevated dome
(parabolic) with obnate pattern.
See References 4, 5 and 6. (*)
L1=25; (*) Length in U1 direction (*)
L2=25; (*) Length in U2 direction (*)
m=7; (*) Frequency of crosses
      in U1 direction (*)
n=7; (*) Frequency of crosses
      in U2 direction (*)
S=sqrt(L1^2+L2^2);
      (*) Span of pellevant (*)
R=0.35*S;      (*) Rise of pellevant (*)
E=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,0]#
  rinid(m,2,2,2*n)|[0,0,0; 2,0,0]#
  rinid(2,n,2*m,2)|[0,0,0; 0,2,0];
Grid=bb(L1/(2*m),L2/(2*n))|E;
Dome=capel(3,L1/2,L2/2,S,R)|Grid;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
  L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۳۲

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 132: Compound pellevated
dome (parabolic) with obnate pattern.
See References 4, 5 and 6. (*)
L1=25; (*) Length in U1 direction (*)
L2=25; (*) Length in U2 direction (*)
m=6; (*) Frequency of crosses
in U1 direction (*)
n=6; (*) Frequency of crosses
in U2 direction (*)
S=sqrt(L1^2+L2^2);
(*) Span of pellevant (*)
R=0.25*S; (*) Rise of pellevant (*)
E=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,0; 1,1,0]#
rinid(m,2,2,2*n)|[0,0,0; 2,0,0]#
rinid(2,n,2*m,2)|[0,0,0; 0,2,0];
Grid=bb(L1/(2*m),L2/(2*n))|E;
D=capel(3,L1/2,L2/2,S,R)|Grid;
Dome=pex|rinid(2,2,L1,L2)|D;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,3*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۳۳

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 133: Pellevated dome
(conical) with ternate pattern.
See References 4, 5 and 6. (*)
L=24; (*) Length of each side of dome (*)
m=12; (*) Frequency (*)
Grid=bb(L/(2*m),L*(sqrt(3))/(2*m))|
genid(m,m,2,1,1,-1)|{[0,0,0; 2,0,0],
[1,1,0; 0,0,0], [1,1,0; 2,0,0]};
Dome=capel(4,L/2,S/4,S,R)|Grid;
use &,vm(2),vt(2),vh(L/2,-L,2*L,
L/2,L/2,0, L/2,L/2,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^۱ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۳۴

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 134: Pellevated sectorate
dome (parabolic).
See References 4, 5 and 6. (*)
S=40;      (*) Span of dome (*)
H=10;      (*) Rise (*)
m=7;       (*) Frequency (*)
n=6;       (*) Number of sides (*)
nn=180/n;  L=S*sin|nn;
E=genid(1,m,2,1,-1,1)|{[0,0,0; -1,1,0],
[0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};
F=bt(L/(2*m),L/(2*m*tan|nn),1)|E;
Base=pex|rosad(0,0,n,360/n)|F;
Dome=capel(3,0,0,S,H)|Base;
use &,vm(2),vt(2),vh(0,S,2*S, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^۲ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۱۳۵ و ۱۳۶

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 135 (n=5) and Fig 136 (n=6):
Pellevated sectorate dome (spherical) with
ternate/hexagonal pattern.
See References 4, 5 and 6. (*)
L=20;      (*) Length of each side of the grid (*)
m=11;      (*) Frequency of the original ternate
grid, m must be a multiple of 3 minus 1(*)
n=5;       (*) Number of sides (*)
S=L/(sin|(360/(2*n)));
              (*) Span of pellevant (*)
R=0.25*S;  (*) Rise of pellevant (*)
q=ric|((m+1)/3);
E=[-1,1,0; 1,1,0]|lam(1,0)|{-1,1,0; 0,2,0},
[-2,2,0; 0,2,0]};
F=genid(1,q,6,3,-3,1)|E#
genid(1,q-1,6,3,-3,1)|(lamid(0,3)|lam(1,-1)|
[-2,2,0; -1,3,0]|ref(2,3)|E);
Grid=rosad(0,0,n,360/n)|bb(L/(2*m),
L/(2*m*tan|(180/n)))|F;
Dome=capel(1,0,0,S,R)|Grid;
use &,vm(2),vt(2),vh(0,-2*L,4*L,
0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۳۷

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 137: Pellevated sectorate
dome (parabolic) with honeycomb pattern.
See References 4, 5 and 6. (*)
L=20; (*) Length of each side of the grid (*)
m=9; (*) Frequency of the original ternate
grid, m must be a multiple of 3 (*)
n=8; (*) Number of sides (*)
S=L/(sin(360/(2*n)));
(*) Span of pellevant (*)
R=0.35*S; (*) Rise of pellevant (*)
E=genid(1,m,2,1,-1,1)|{[0,0,0; -1,1,0],
[0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};
RN=genid(1,((m/3)+1),6,3,-3,1)|[0,0,0]#
genid(1,m/3,6,3,-3,1)|[0,2,0]#
genid(1,((m/3)-1),6,3,-3,1)|[0,4,0];
Grid=pex|rosad(0,0,n,360/n)|bb(L/(2*m),
L/(2*m*tan(180/n))|lux(RN)|E;
Dome=capel(3,0,0,S,R)|Grid;
use &,vm(2),vt(2),vh(0,-2*L,5*L,
0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۳۸

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 138: Pellevated sectorate
dome (tri-spherical). See References
4, 5 and 6. (*)
S=40; (*) Span of dome (*)
H=4; (*) Rise (*)
m=7; (*) Frequency (*)
n=6; (*) Number of sides (*)
nn=180/n; L=S*sin|nn;
E=genid(1,m,2,1,-1,1)|{[0,0,0; -1,1,0],
[0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};
F=bt(L/(2*m),L/(2*m*tan|nn),1)|E;
Base=pex|rosad(0,0,n,360/n)|F;
Dome=capel(1,S*sin|nn/4,S*cos|nn/4,S,H)|
capel(1,S*sin|nn/4,-S*cos|nn/4,S,H)|
capel(1,-S*sin|nn/4,-S*cos|nn/4,S,H)|Base;
use &,vm(2),vt(2),vh(0,S,S, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۳۹

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 139: Pellevated dome
conical). See References + (parabolic
4, 5 and 6. (*)
S=40; (*) Span of dome (*)
H1=6; (*) Rise of the paraboloid (*)
H2=4; (*) Rise of the cone (*)
m=6; (*) Frequency (*)
n=8; (*) Number of sides (*)
nn=180/n; L=S*sin|nn;
E=genid(1,m,2,1,-1,1)|{[0,0,0; -1,1,0],
[0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};
F=bt(L/(2*m),L/(2*m*tan|nn),1)|E;
Base=pex|rosad(0,0,n,360/n)|F;
Dome=capel(3,0,0,S,H1)|
capel(4,0,0,S,H2)|Base;
use &,vm(2),vt(2),
vh(S,0,1.4*S, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۴۰

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 140: Pellevated double layer
dome (spherical). See References
4, 5 and 6. (*)
L1=20; (*) Length in U1 direction (*)
L2=20; (*) Length in U2 direction (*)
D=1.5; (*) Depth in U3 direction (*)
H=6; (*) Rise of dome (*)
m=6; (*) Frequency in U1 direction (*)
n=6; (*) Frequency in U2 direction (*)
T=rinid(m,n+1,2,2)|[0,0,1; 2,0,1]#
rinid(m+1,n,2,2)|[0,0,1; 0,2,1];
B=rinid(m-1,n,2,2)|[1,1,0; 3,1,0]#
rinid(m,n-1,2,2)|[1,1,0; 1,3,0];
W=rinid(m,n,2,2)|lamid(1,1)|[0,0,1; 1,1,0];
G=bt(L1/(2*m),L2/(2*n),D)|(T#B#W);
Dome=capel(1,L1/2,L2/2,
sqrt|(L1^2+L2^2),H)|G;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2/2,2*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Dome;
```


برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۴۱

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 141: Pellevated double layer
dome (parabolic): See References
4, 5 and 6. (*)
L=20; (*) Length of each side in plan (*)
H=8; (*) Rise of dome (*)
D=2.15; (*) Depth of grid (*)
m=3; (*) Frequency of top layer (*)
n=8; (*) Number of sides (*)
S=L/tan|(180/n); (*) Span (*)
ET=genid(1,m,2,3,-1,1)|{[0,0,0; -1,3,0],
[0,0,0; 1,3,0], [-1,3,0; 1,3,0]};
EB=genid(1,m-1,2,3,-1,1)|{[0,2,-1; -1,5,-1],
[0,2,-1; 1,5,-1], [-1,5,-1; 1,5,-1]};
EW=genid(1,m,2,3,-1,1)|{[0,0,0; 0,2,-1],
[-1,3,0; 0,2,-1], [1,3,0; 0,2,-1]};
E=bt(L/(2*m),S/(6*m),D)|(ET#EB#EW);
Qi=[0,2,-1]; Ri=bt(L/(2*m),S/(6*m),D)|Qi;
Rj=verad(0,0,360/n)|Ri; K1=tig|(Ri#Rj);
K2=rinad(0,0,-L/(2*m),S/(2*m),m)|K1;
Grid=pex|rosad(0,0,n,360/n)|(E#K2);
Dome=capel(3,0,0,S,H)|Grid;
use &,vm(2),vt(2),vh(0,S,2*S, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۴۲

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 142: Geodesic dome,
based on top 5 faces of icosahedron.
See References 7 and 8. (*)
S=60; (*) Span (*)
m=7; (*) Frequency of subdivision (*)
R=sqrt|(10+2*sqrt|5)*sin|36*S/4;
E=pol(1,5,'[1-5]',R,[0,0; 2*m,0])|
dil(2,sqrt|3)|genid(m,m,2,1,1,-1)|
{[0,0; 2,0], [0,0; 1,1], [2,0; 1,1]};
Dome=trac(1,[0,0,0,R],4,-15)|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(S,S,3*S, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;

برنامه^{۱۴۳} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۴۳

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 143: Geodesic dome,
based on top 5 faces of icosahedron.
See References 7 and 8. (*)
S=60; (*) Span (*)
m=12; (*) Frequency,
m must be divisible by 3 (*)
mm=m/3-1;
R=sqrt|(10+2*sqrt|5)*sin|36*S/4;
E=genid(m,m,2,1,1,-1)|{[0,0; 2,0],
[0,0; 1,1], [2,0; 1,1]};
E=lux(genid(mm,mm,6,3,3,-1)|[6,2])|E;
G=pol(1,5,'[1-5]',R,[0,0; 2*m,0])|
dil(2,sqrt|3)|E;
Dome=trac(1,[0,0,0,R],4,-15)|G;
use &,vm(2),vt(2),vh(S,S,3*S, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^{۱۴۴} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۴۴

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 144: Geodesic dome,
based on top 5 faces of icosahedron.
See References 7 and 8. (*)
S=60; (*) Span (*)
m=14; (*) Frequency, m must be even (*)
p=tic|(m/2)+1;
R=sqrt|(10+2*sqrt|5)*sin|36*S/4;
E=genid(m,m,2,1,1,-1)|{[0,0; 2,0],
[0,0; 1,1], [2,0; 1,1]};
C=genid(p,p,4,2,2,-1)|[0,0];
G=pol(1,5,'[1-5]',R,[0,0; 2*m,0])|
dil(2,sqrt|3)|lux(C)|E;
Dome=trac(1,[0,0,0,R],4,-15)|G;
use &,vm(2),vt(2),vh(S,S,3*S, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۴۵

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 145: Geodesic dome,
based on top 5 faces of icosahedron.
See References 7 and 8. (*)
S=60; (*) Span (*)
m=14; (*) Frequency,
m must be 5 plus a multiple of 3 (*)
p=(m-2)/3;
R=sqrt(10+2*sqrt(5))*sin(36*S/4);
E=genid(m,m,2,1,1,-1)|{[0,0; 2,0],
[0,0; 1,1], [2,0; 1,1]};
C=[0,0]#[2*m,0]#genid(p,p,6,3,3,-1)|
[5,1]#genid(p+1,p+1,6,3,3,-1)|
{[2,0], [2,2]};
G=pol(1,5,'[1-5]',R,[0,0; 2*m,0])|
dil(2,sqrt(3))lux(C)|E;
Dome=trac(1,[0,0,0,R],4,-15)|G;
use &,vm(2),vt(2),vh(S,S,3*S, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۴۶

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 146: Geodesic dome of
Fig 145, scaled vertically to make it
ellipsoidal. See References 7 and 8. (*)
S=60; (*) Span (*)
m=14; (*) Frequency,
m must be 5 plus a multiple of 3 (*)
f=1.75; (*) Scale factor (*)
p=(m-2)/3;
R=sqrt(10+2*sqrt(5))*sin(36*S/4);
E=genid(m,m,2,1,1,-1)|{[0,0; 2,0],
[0,0; 1,1], [2,0; 1,1]};
C=[0,0]#[2*m,0]#genid(p,p,6,3,3,-1)|
[5,1]#genid(p+1,p+1,6,3,3,-1)|
{[2,0], [2,2]};
G=pol(1,5,'[1-5]',R,[0,0; 2*m,0])|
dil(2,sqrt(3))lux(C)|E;
Dome=dil(3,f)|trac(1,[0,0,0,R],4,-15)|G;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,100000*S,0, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۴۷

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 147: Geodesic dome of
Fig 145, pellevated to add a conical
effect. See References 7 and 8. (*)
S=60; (*) Span (*)
H=12; (*) Pellevational rise (*)
m=14; (*) Frequency,
m must be 5 plus a multiple of 3 (*)
p=(m-2)/3;
R=sqrt|(10+2*sqrt|5)*sin|36*S/4;
E=genid(m,m,2,1,1,-1)|{[0,0; 2,0],
[0,0; 1,1], [2,0; 1,1]};
C=[0,0]#[2*m,0]#genid(p,p,6,3,3,-1)|[5,1]#
genid(p+1,p+1,6,3,3,-1)|{[2,0], [2,2]};
G=pol(1,5,'[1-5]',R,[0,0; 2*m,0])|
dil(2,sqrt|3)|lux(C)|E;
D=trac(1,[0,0,0,R],4,-15)|G;
Dome=capel(4,0,0,S,H)|D;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,100000*S,0, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۱۴۸ و ۱۴۹

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Figs 148 (P=2) and 149
(P=4): Novated dome with binate
pattern and edges held in position
(novation mode 3 is used).
See References 9, 10 and 11. (*)
L1=45; (*) Length in U1 direction (*)
L2=45; (*) Length in U2 direction (*)
m=18; (*) Frequency in U1 direction (*)
n=18; (*) Frequency in U2 direction (*)
Sh=11; (*) Specified height (*)
P=2; (*) Position specifier (*)
Sb=[L1/P,L2/P,0]; (*) Specified base (*)
St=[L1/P,L2/P,Sh]; (*) Specified target (*)
E=rinid(m,n+1,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
rinid(m+1,n,1,1)|[0,0,0; 0,1,0];
Grid=bb(L1/m,L2/n)|E;
Edge=bb(L1/m,L2/n)|(rinid(m+1,2,1,n)|
[0,0,0]#rinid(2,n-1,m,1)|[0,1,0]);
Dome=nov(3,1,Edge#Sb,Edge#St)|Grid;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,1.5*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه^۱ فرمیینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۵۰

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 150: Novated dome with
binate pattern and edges held in position
(novation mode 2 is used).
See References 9, 10 and 11. (*)
L1=45; (*) Length in U1 direction (*)
L2=45; (*) Length in U2 direction (*)
m=18; (*) Frequency in U1 direction (*)
n=18; (*) Frequency in U2 direction (*)
Sh=12; (*) Specified height (*)
Sb=[L1/2,L2/2,0]; (*) Specified base (*)
St=[L1/2,L2/2,Sh]; (*) Specified target (*)
E=rinid(m,n+1,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
rinid(m+1,n,1,1)|[0,0,0; 0,1,0];
Grid=bb(L1/m,L2/n)|E;
Edge=bb(L1/m,L2/n)|(rinid(m+1,2,1,n)|
[0,0,0]#rinid(2,n-1,m,1)|[0,1,0]);
Dome=nov(2,1,Edge#Sb,Edge#St)|Grid;
use & ,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,1.5*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Dome;

برنامه^۱ فرمیینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۵۱

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 151: Novated dome
with binate pattern, four raised points and
edges held in position (novation mode 3 is
used). See References 9, 10 and 11. (*)
L1=45; (*) Length in U1 direction (*)
L2=45; (*) Length in U2 direction (*)
m=18; (*) Frequency in U1 direction (*)
n=18; (*) Frequency in U2 direction (*)
Sh=5; (*) Specified height (*)
Sb=rinid(2,2,L1/2,L2/2)|[L1/4,L2/4,0];
St=proj(3,Sh)|Sb;
E=rinid(m,n+1,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
rinid(m+1,n,1,1)|[0,0,0; 0,1,0];
Grid=bb(L1/m,L2/n)|E;
Edge=bb(L1/m,L2/n)|(rinid(m+1,2,1,n)|
[0,0,0]#rinid(2,n-1,m,1)|[0,1,0]);
Dome=nov(3,1,Edge#Sb,Edge#St)|Grid;
use & ,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,1.5*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Dome;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۱۵۲، ۱۵۳ و ۱۵۴

(*) Formian scheme for configurations similar to Figs 152 (n=4), 153 (n=5) and 154 (n=6): Sectorate novated dome with ternate pattern, a central raised point and with corners held in position.

See References 9, 10 and 11. (*)

L=30; (*) Length of each side (*)

m=7; (*) Frequency (*)

n=4; (*) Number of sides (*)

Sh=7; (*) Specified height (*)

E=bb(L/(2*m),L/(2*m*tan|(180/n)))|

genid(1,m,2,1,-1,1)|{[0,0,0; -1,1,0],

[0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};

Grid=pex|rosad(0,0,n,360/n)|E;

Corner=rosad(0,0,n,360/n)|bb(L/(2*m),

L/(2*m*tan|(180/n))|[m,m,0];

Dome=nov(3,1,Corner#[0,0,0],

Corner#[0,0,Sh])|Grid;

use &,vm(2),vt(2),vh(0,-2*L,1.5*L,

0,0,0, 0,0,1);

clear; draw Dome;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۵۵

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 155: Novated dome with ternate pattern and triangular boundary and with a central raised point and corners held in position.

See References 9, 10 and 11. (*)

L=36; (*) Length of each side (*)

m=12; (*) Frequency (*)

Sh=L/7; (*) Specified height (*)

s=L*(sqrt|3)/2;

Corner=rosad(L/2,s/3,3,120)|[0,0,0];

Grid=bb(L/(2*m),s/m)|

genid(m,m,2,1,1,-1)|{[0,0,0; 2,0,0],

[1,1,0; 0,0,0], [1,1,0; 2,0,0]};

Dome=nov(3,1,Corner#[L/2,s/3,0],Corner#

[L/2,s/3,Sh])|Grid;

use &,vm(2),vt(2),vh(L/2,-L,L,

L/2,L/2,0, L/2,L/2,1);

clear; draw Dome;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۵۶

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 156: Novated dome with binate pattern, a number of raised points and with edges held in position. See References 9, 10 and 11. (*)
 L1=45; (*) Length in U1 direction (*)
 L2=45; (*) Length in U2 direction (*)
 m=27; (*) Frequency in U1 direction, must be a multiple of 3 (*)
 n=27; (*) Frequency in U2 direction, must be a multiple of 3 (*)
 m1=m/3; n1=n/3;
 Sh=3.5; (*) Specified height (*)
 Sb=bb(L1/m,L2/n)|(rinid(2*m1+1,2,1,2*n1)|
 [m1/2,n1/2,0]#rinid(2,2*n1-1,2*m1,1)|
 [m1/2,1+n1/2,0]);
 E=rinid(m,n+1,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
 rinid(m+1,n,1,1)|[0,0,0; 0,1,0];
 E=lux(rinid(m1-1,n1-1,1,1)|[m1+1,n1+1,0])|E;
 Grid=bb(L1/m,L2/n)|E;
 Edge=bb(L1/m,L2/n)|(rinid(m+1,2,1,n)|
 [0,0,0]#rinid(2,n-1,m,1)|[0,1,0]#
 rinid(m1+1,2,1,n1)|[m1,n1,0]#
 rinid(2,n1-1,m1,1)|[m1,n1+1,0]);
 Dome=nov(3,1,Edge#Sb,Edge#
 proj(3,Sh)|Sb)|Grid;
 use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,2*L2,
 L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
 clear; draw Dome;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۱۵۷ و ۱۵۸

(*) Formian scheme for configurations similar to Figs 157 (n=5) and 158 (n=6): Sectorate novated dome with ternate pattern, n raised points and with outside corners and inside edges held in position. See References 9, 10 and 11. (*)
 L=30; (*) Length of each side (*)
 m=9; (*) Frequency (*)
 n=5; (*) Number of sides (*)
 Sh=2.5; (*) Specified height (*)
 Sb=rosad(0,0,n,360/n)|bb(L/(2*m),
 L/(2*m*tan|(180/n))|[m/2,m/2,0];
 E=bb(L/(2*m),L/(2*m*tan|(180/n))|
 lux({[0,0,0], [1,1,0], [-1,1,0]})|
 genid(1,m,2,1,-1,1)|{[0,0,0; -1,1,0],
 [0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]});
 Grid=pex|rosad(0,0,n,360/n)|E;
 Corner=rosad(0,0,n,360/n)|bb(L/(2*m),
 L/(2*m*tan|(180/n))|
 {[m,m,0], [2,2,0], [0,2,0]});
 Dome=nov(3,1,Corner#Sb,
 Corner#proj(3,Sh)|Sb)|Grid;
 use &,vm(2),vt(2),vh(0,-2*L,1.5*L,

```
0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Dome;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۵۹

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 159: Novated dome
with binate pattern, three raised points
and edges held in position.
See References 9, 10 and 11. (*)
L1=45; (*) Length in U1 direction (*)
L2=45; (*) Length in U2 direction (*)
m=24; (*) Frequency in U1 direction,
must be a multiple of 3 (*)
n=24; (*) Frequency in U2 direction,
must be a multiple of 3 (*)
Sh=6; (*) Specified height (*)
m1=m/3; n1=n/3; L11=L1/3; L21=L2/3;
Sb={ [L11,2*L21,0], [2*L11,2*L21,0],
[2*L11,L21,0] };
E=rinid(m,n+1,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
rinid(m+1,n,1,1)|[0,0,0; 0,1,0];
E=lux(rinid(m1+1,n1+1,1,1)|[0,0,0])|E;
Grid=bb(L1/m,L2/n)|E;
Edge=bb(L1/m,L2/n)|
(rinid(m1+1,2,1,2*n1-1)|
[0,n1+1,0]#rinid(2*m1,2,1,n)|[m1+1,0,0]#
rinid(2,n1+1,2*m1-1,1)|[m1+1,1,0]#
rinid(2,2*m1-2,m,1)|[0,n1+2,0]);
Dome=nov(3,1,Edge#Sb,Edge#
proj(3,Sh)|Sb)|Grid;
use &,vm(2),vt(2),vh(L1/2,-L2,1.5*L2,
L1/2,L2/2,0, L1/2,L2/2,1);
clear; draw Dome;
```


برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۶۰

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 160: Barrel-dome.
See Section 3.5 of Reference 3. (*)
S=40; (*) Span of barrel vault
and the semi-domes (*)
H=12; (*) Rise of barrel vault
and the semi domes (*)
L=32; (*) Length of barrel vault (*)
m=6; (*) Frequency of the semi-domes (*)
n=8; (*) Frequency along the
length of barrel vault, n must be even (*)
p=3; (*) Number of sectors of
each semi-dome (*)
A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin(A)); (*) Circumradius (*)
E=rinit(2*m+1,n,1,1)|[1,0,0; 1,0,1]#
rinit(2*m,n-1,1,1)|[1,0,1; 1,1,1]#
lamit(m,n/2)|rinit(m,n/2,1,1)|
[1,1,0; 1,0,1];
B=verad(0,0,90-A)|bc(R,A/m,L/n)|E;
F=bd(R,180/p,A/m)|genit(1,m,1,1,0,1)|
{[1,0,0; 1,0,1], [1,0,0; 1,1,1],
[1,0,1; 1,1,1]};
D=pex|rosad(0,0,p,180/p)|F;
Domes=lam(2,-L/2)|D;
Barrel=verat(0,0)|B;
Bard=Barrel#Domes;
use &,vm(2),vt(2),
vh(2*R,2*R,8*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Bard;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۶۱

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 161: Barrel-dome.
See Section 3.5 of Reference 3. (*)
S=35; (*) Span of barrel vault
and the semi-domes (*)
H=10; (*) Rise of barrel vault
and the semi domes (*)
L=20; (*) Length of barrel vault (*)
m=6; (*) Frequency of the semi-domes (*)
n=6; (*) Frequency along the length of
barrel vault, n must be even (*)
p=3; (*) Number of sectors of
each semi-dome (*)
A=2*atan|(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin|A); (*) Circumradius (*)
E=rinit(2*m+1,n,1,1)|[1,0,0; 1,0,1]#
rinit(2*m,n-1,1,1)|[1,0,1; 1,1,1]#
lamit(m,n/2)|rinit(m,n/2,1,1)|
[1,0,0; 1,1,1];
B=verad(0,0,90-A)|bc(R,A/m,L/n)|E;
F=bd(R,180/p,A/m)|genit(1,m,1,1,0,1)|
{[1,0,0; 1,0,1], [1,0,0; 1,1,1],
[1,0,1; 1,1,1]};
D=pex|rosad(0,0,p,180/p)|F;
Domes=lam(2,-L/2)|D;
Barrel=verat(0,0)|B;
Bard=Barrel#Domes;
use &,vm(2),vt(2),
vh(2*R,2*R,8*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Bard;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۶۲

```
(*) Formian scheme for configurations
    similar to Fig 162: Barrel-dome.
    See Section 3.5 of Reference 3. (*)
S=35; (*) Span of barrel vault
        and the semi-domes (*)
H=10; (*) Rise of barrel vault
        and the semi domes (*)
L=25; (*) Length of barrel vault (*)
m=6; (*) Frequency of the semi-domes (*)
n=8; (*) Frequency along the length
        of barrel vault, n must be even (*)
p=3; (*) Number of sectors of
        each semi-dome (*)
A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
R=S/(2*sin(A)); (*) Circumradius (*)
E=rinit(2*m+1,n,1,1)|[1,0,0; 1,0,1]#
    rinit(2*m,n-1,1,1)|[1,0,1; 1,1,1]#
    lamit(m,n/2)|rinit(m,n/2,1,2)|
    lam(3,1)|[1,1,0; 1,0,1];
E=lux(rin(3,n/2,2)|[1,m,1])|E;
B=verad(0,0,90-A)|bc(R,A/m,L/n)|E;
F=bd(R,180/p,A/m)|genit(1,m,1,1,0,1)|
    {[1,0,0; 1,0,1], [1,0,0; 1,1,1],
    [1,0,1; 1,1,1]};
D=pex|rosad(0,0,p,180/p)|F;
Domes=lam(2,-L/2)|D;
Barrel=verat(0,0)|B;
Bard=Barrel#Domes;
use &,vm(2),vt(2),
    vh(2*R,2*R,8*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Bard;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۶۳

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 163: Barrel-dome.
See Section 3.5 of Reference 3. (*)
S=35; (*) Span of barrel vault
and the semi-domes (*)
H=10; (*) Rise of barrel vault
and the semi domes (*)
T=45; (*) Central angle
containing the barrel vault (*)
R=60; (*) Radius of annulus (*)
f=5; (*) Frequency of the semi-domes (*)
m=10; (*) Frequency along the length
of barrel vault, m must be even (*)
p=3; (*) Number of sectors of
each semi-dome (*)
A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
Q=S/(2*sin(A)); (*) Radius of
cross-section of annulus (*)
E=rinic(2,4,m,2*f+1,1,1)|[1,0,1,-f;
1,1,1,-f]#rinic(2,4,m+1,2*f,1,1)|
[1,0,1,-f; 1,0,1,1-f]#
lamic(2,4,ric(m/2,0)|rinic(2,4,ric
(m/2),f,1,1)|[1,0,1,0; 1,1,1,1];
Barrel=dep(4)|ba(R,T/m,Q,A/f)|E;
F=bd(Q,180/p,A/f)|genit(1,f,1,1,0,1)|
{[1,0,0; 1,0,1], [1,0,0; 1,1,1],
[1,0,1; 1,1,1]};
D=tran(1,R)|rosad(0,0,p,180/p)|F;
Domes=ref(2,0)|D#verad(0,0,T)|D;
Bard=pex|(Barrel#Domes);
use &,vm(2),vt(2),
vh(2*S,4*S,6*S, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Bard;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۶۴

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 164: Barrel-dome.
See Section 3.5 of Reference 3. (*)
S=35; (*) Span of barrel vault
and the semi-domes (*)
H=10; (*) Rise of barrel vault
and the semi domes (*)
T=90; (*) Central angle
containing the barrel vault (*)
R=60; (*) Radius of annulus (*)
f=5; (*) Frequency of the semi-domes (*)
m=20; (*) Frequency along the length
of barrel vault, m must be even (*)
p=3; (*) Number of sectors of
each semi-dome (*)
A=2*atan(2*S/H); (*) Sweep angle (*)
Q=S/(2*sin(A)); (*) Radius of
cross-section of annulus (*)
E=rinic(2,4,m,2*f+1,1,1)|[1,0,1,-f;
1,1,1,-f]#rinic(2,4,m+1,2*f,1,1)|
[1,0,1,-f; 1,0,1,1-f]#
lamic(2,4,ric|(m/2),0)|rinic(2,4,ric|
(m/2),f,1,1)|[1,1,1,0; 1,0,1,1];
Barrel=dep(4)|ba(R,T/m,Q,A/f)|E;
F=bd(Q,180/p,A/f)|genit(1,f,1,1,0,1)|
{[1,0,0; 1,0,1], [1,0,0; 1,1,1],
[1,0,1; 1,1,1]};
D=tran(1,R)|rosad(0,0,p,180/p)|F;
Domes=ref(2,0)|D#verad(0,0,T)|D;
Bard=pex|(Barrel#Domes);
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,-2*S,8*S, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Bard;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۶۵

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 165: Barrel-dome.
See Section 3.5 of Reference 3. (*)
S=35; (*) Span of barrel vault and the semi-domes (*)
H=10; (*) Rise of barrel vault and the semi domes (*)
T=25; (*) Central angle containing half the barrel vault (*)
R=60; (*) Radius of annulus (*)
f=5; (*) Frequency of the semi-domes (*)
m=6; (*) Frequency along half the length of barrel vault (*)
p=3; (*) Number of sectors of each semi-dome (*)
A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
Q=S/(2*sin(A)); (*) Radius of cross-section of annulus (*)
E=rinic(2,4,m,2*f+1,1,1)|[1,0,1,-f; 1,1,1,-f]#rinic(2,4,m+1,2*f,1,1)| [1,0,1,-f; 1,0,1,1-f]# lam(4,0)|rinic(2,4,m,f,1,1)| [1,0,1,0; 1,1,1,1];
B=dep(4)|ba(R,T/m,Q,A/f)|E;
F=bd(Q,180/p,A/f)|genit(1,f,1,1,0,1)| {[1,0,0; 1,0,1], [1,0,0; 1,1,1], [1,0,1; 1,1,1]};
D=tran(1,R)|rosad(0,0,p,180/p)|F;
BD=B#verad(0,0,T)|D;
Bard=pex|(BD#verad(R,0,180)|BD);
use &,vm(2),vt(2),
vh(3*S,4*S,8*S, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Bard;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۱۶۶ و ۱۶۷

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 166 (H=3) and Fig 167 (H=12): Simple hyper. See Section 3.2 of Reference 3. (*)
L=20; (*) Length of side in plan (*)
H=3; (*) Height (*)
m=6; (*) Semi-frequency (*)
P=H/(L*L); (*) Pitch (*)
n=2*m;
E=rinid(n,n+1,1,1)|[-m,-m,0; 1-m,-m,0]# rinid(n+1,n,1,1)|[-m,-m,0; -m,1-m,0];
Hyper=bhp(L/n,L/n,1,P)|E;
use &,vm(2),vt(2),vh(L,-L,L,0,0,0, 0,0,1);

```
clear; draw Hypar;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۶۸

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 168: Double layer hypar.
See Section 3.2 of Reference 3. (*)
L=30; (*) Length of side
of top layer in plan (*)
D=1.5; (*) Distance between layers (*)
m=5; (*) Frequency of top layer (*)
P=0.015; (*) Pitch (*)
T=pex|rinid(m,m,2,2)|rosad(1-m,1-m)|
[-m,-m,1; 2-m,-m,1];
B=pex|rinid(m-1,m-1,2,2)|rosad(2-m,2-m)|
[1-m,1-m,0; 3-m,1-m,0];
W=rinid(m,m,2,2)|rosad(1-m,1-m)|
[-m,-m,1; 1-m,1-m,0];
Hypar=bhp(L/(2*m),L/(2*m),D,P)|
(T#B#W);
use &,vm(2),vt(2),vh(L,-L,2*L,0,0,0,0,0,1);
clear; draw Hypar;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۶۹

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 169: Compound hypar
(convex). See Section 3.2 of
Reference 3. (*)
L=20; (*) Length of side
of each hypar units in plan (*)
H=7; (*) Height (*)
m=4; (*) Semi-frequency (*)
P=H/(L*L); (*) Pitch (*)
n=2*m;
E=rinid(n,n+1,1,1)|[-m,-m,0; 1-m,-m,0]#
rinid(n+1,n,1,1)|[-m,-m,0; -m,1-m,0];
F=bhp(L/n,L/n,1,P)|E;
Hypar=pex|rosad(L/2,L/2)|F;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0.1*L,-4*L,4*L,0,0,0,0,0,1);
clear; draw Hypar;
```

برنامه^۱ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۷۰

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 170: Compound hypar
(concave). See Section 3.2 of
Reference 3. (*)
L=20;  (*) Length of side
of each hypar units in plan (*)
H=7;  (*) Height (*)
m=4;  (*) Semi-frequency (*)
P=H/(L*L);  (*) Pitch (*)
n=2*m;
E=rinid(n,n+1,1,1)|[-m,-m,0; 1-m,-m,0]#
rinid(n+1,n,1,1)|[-m,-m,0; -m,1-m,0];
F=bhp(L/n,L/n,1,P)|E;
Hypar=pex|rosad(L/2,-L/2)|F;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0.1*L,-3*L,3*L, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Hypar;
```

برنامه^۲ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۷۱

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 171: Compound hypar.
See Section 3.2 of Reference 3. (*)
L=20;  (*) Length of side
of each hypar units in plan (*)
H=8;  (*) Height (*)
m=3;  (*) Semi-frequency (*)
P=H/(L*L);  (*) Pitch (*)
n=2*m;
E=rinid(n,n+1,1,1)|[-m,-m,0; 1-m,-m,0]#
rinid(n+1,n,1,1)|[-m,-m,0; -m,1-m,0];
F=bhp(L/n,L/n,1,P)|E;
Hypar=pex|rosad(3*L/2,3*L/2)|
rosad(L/2,L/2)|F;
use &,vm(2),vt(2),
vh(6*L,6*L,5*L,0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Hypar;
```


برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۷۲

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 172: Pellevated compound
hypar. See Section 3.2 of Reference 3
and References 4 and 5. (*)
L=20;  (*) Length of side
of each hypar units in plan (*)
H=7;  (*) Original height (*)
R=7;  (*) Pellevational rise (*)
m=4;  (*) Semi-frequency (*)
P=H/(L*L);  (*) Pitch (*)
n=2*m;
E=rinid(n,n+1,1,1)|[-m,-m,0; 1-m,-m,0]#
rinid(n+1,n,1,1)|[-m,-m,0; -m,1-m,0];
F=bhp(L/n,L/n,1,P)|E;
G=pex|rosad(L/2,L/2)|F;
Hypar=capel(3,L/2,L/2,2*L*sqrt(2,R)|G;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0.1*L,-3*L,3*L, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Hypar;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۷۳

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 173 : Pellevated compound
hypar. See Section 3.2 of Reference 3
and References 4, 5 and 6. (*)
L=20;  (*) Length of side
of each hypar units in plan (*)
H=8;  (*) Original height (*)
R=35;  (*) Pellevational rise (*)
m=3;  (*) Semi-frequency (*)
P=H/(L*L);  (*) Pitch (*)
n=2*m;
E=rinid(n,n+1,1,1)|[-m,-m,0; 1-m,-m,0]#
rinid(n+1,n,1,1)|[-m,-m,0; -m,1-m,0];
F=bhp(L/n,L/n,1,P)|E;
G=pex|rosad(3*L/2,3*L/2)|
rosad(L/2,L/2)|F;
Hypar=capel(3,3*L/2,3*L/2,
4*L*sqrt(2,R)|G;
use &,vm(2),vt(2),
vh(20*L,20*L,25*L,0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Hypar;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۷۴

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 174: Pyramid.
See Section 2.2 of Reference 2. (*)
L=20; (*) Length of each side of base (*)
H=20; (*) Height of pyramid (*)
m=7; (*) Frequency (*)
n=3; (*) Number of sides of the base (*)
C=L/(2*tan|(180/n));
S=sqrt|(C*C+H*H);
B=atan|(H/C);
E1=genid(1,m,2,1,-1,1)|{[0,0,0; -1,1,0],
[0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};
E2=bb(L/(2*m),S/m)|E1;
E3=tran(2,C-S)|E2;
E4=verat(C,0,-B)|E3;
Pyramid=pex|rosad(0,0,n,360/n)|E4;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,-L,9*L, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Pyramid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل‌های ۱۷۵ و ۱۷۶

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 175 (m=9, n=5) and
Fig 176 (m=6, n=12): Pyramid.
See Section 2.2 of Reference 2. (*)
L=20; (*) Length of each side of base (*)
H=15; (*) Height of pyramid (*)
m=9; (*) Frequency (*)
n=5; (*) Number of sides of the base (*)
C=L/(2*tan|(180/n));
S=sqrt|(C*C+H*H);
B=atan|(H/C);
E1=genid(1,m,2,1,-1,1)|{[0,0,0; -1,1,0],
[0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};
E2=bb(L/(2*m),S/m)|E1;
E3=tran(2,C-S)|E2;
E4=verat(C,0,-B)|E3;
Pyramid=pex|rosad(0,0,n,360/n)|E4;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,-L,3*L, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Pyramid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۷۷

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 177: Pyramid.
See Section 2.2 of Reference 2. (*)
L=20; (*) Length of each side of base (*)
H=20; (*) Height of pyramid (*)
m=8; (*) Frequency, m must be even (*)
n=9; (*) Number of sides of the base (*)
C=L/(2*tan(180/n));
S=sqrt(C*C+H*H);
B=atan(H/C);
mm=ric(m/2)-1;
E=genid(1,m,2,1,-1,1)|{[0,0,0; -1,1,0],
[0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};
E1=lux(genid(1,3,2,1,-1,1)|[0,m-2,0])|E;
E2=bb(L/(2*m),S/m)|E1;
E3=tran(2,C-S)|E2;
E4=verat(C,0,-B)|E3;
Pyramid=pex|rosad(0,0,n,360/n)|E4;
use &,vm(2),vt(2),
vh(L,L,2.5*L, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Pyramid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۷۸

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 178: Pyramid.
See Section 2.2 of Reference 2. (*)
L=20; (*) Length of each side of base (*)
H=20; (*) Height of pyramid (*)
m=15; (*) Frequency (*)
n=6; (*) Number of sides of the base (*)
C=L/(2*tan(180/n));
S=sqrt(C*C+H*H);
B=atan(H/C);
mm=ric(m/2)-1;
E=genid(1,m,2,1,-1,1)|{[0,0,0; -1,1,0],
[0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};
E1=lux(genid(1,5,4,2,-2,1)|[0,4,0])|E;
E2=bb(L/(2*m),S/m)|E1;
E3=tran(2,C-S)|E2;
E4=verat(C,0,-B)|E3;
Pyramid=pex|rosad(0,0,n,360/n)|E4;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,2*L,5*L, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Pyramid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۷۹

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 179: Double layer pyramid.

See Section 2.2 of Reference 2. (*)

L=20; (*) Length of each side of base (*)

H=12; (*) Height of pyramid (*)

D=1.25; (*) Distance between two layers (*)

m=4; (*) Frequency (*)

n=6; (*) Number of sides of the base (*)

$C=L/(2*\tan(180/n));$

$S=\sqrt{C*C+H*H};$

$B=\text{atan}(H/C);$

$E_t=\text{genid}(1,m,2,3,-1,1)|\{[0,0,0; -1,3,0],$

$[0,0,0; 1,3,0], [-1,3,0; 1,3,0]\};$

$E_b=\text{genid}(1,m-1,2,3,-1,1)|\{[0,2,-1; -1,5,-1],$

$[0,2,-1; 1,5,-1], [-1,5,-1; 1,5,-1]\};$

$E_w=\text{genid}(1,m,2,3,-1,1)|\{[0,0,0; 0,2,-1],$

$[-1,3,0; 0,2,-1], [1,3,0; 0,2,-1]\};$

$E1=E_t\#E_b\#E_w;$

$E2=\text{bt}(L/(2*m),S/(3*m),D)|E1;$

$E3=\text{tran}(2,C-S)|E2;$

$E4=\text{verat}(C,0,-B)|E3;$

$Q_i=[0,2,-1];$

$R_i=\text{verat}(C,0,-B)|\text{tran}(2,C-S)|$

$\text{bt}(L/(2*m),S/(3*m),D)|Q_i;$

$R_j=\text{verad}(0,0,360/n)|R_i;$

$K1=\text{tig}(R_i\#R_j);$

$K2=\text{rinax}(0,0,H,-L/(2*m),$

$C/m,(m-1)*H/m,m)|K1;$

(*) K2 represents the bottom layer
elements that link the n segments
of the pyramid (*)

$\text{Pyramid}=\text{pex}|\text{rosad}(0,0,n,360/n)|(E4\#K2);$

use &,vm(2),vt(2),

vh(0,2*L,3*L,0,0,0,0,0,1);

clear; draw Pyramid;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۸۰

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 180 : Pellevated pyramid.
See Section 2.2 of Reference 2 and
References 4, 5 and 6. (*)
L=20; (*) Length of each side of base (*)
H=18; (*) Height of pyramid (*)
P=8; (*) Pellevational rise (*)
m=9; (*) Frequency (*)
n=5; (*) Number of sides of the base (*)
C=L/(2*tan(180/n));
S=sqrt(C*C+H*H);
B=atan(H/C);
E1=genid(1,m,2,1,-1,1)|{[0,0,0; -1,1,0],
[0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};
E2=bb(L/(2*m),S/m)|E1;
E3=tran(2,C-S)|E2;
E4=verat(C,0,-B)|E3;
E5=pex|rosad(0,0,n,360/n)|E4;
Pyramid=capel(3,0,0,
L/sin(180/n),P)|E5;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,-L,4.5*L, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Pyramid;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۸۱

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 181: Pellevated Pyramid.
See Section 2.2 of Reference 2
and References 4, 5 and 6. (*)
L=20; (*) Length of each side of base (*)
H=20; (*) Height of pyramid (*)
P=6; (*) Pellevational rise (*)
m=15; (*) Frequency (*)
n=6; (*) Number of sides of the base (*)
C=L/(2*tan(180/n));
S=sqrt(C*C+H*H);
B=atan(H/C);
mm=ric(m/2)-1;
E=genid(1,m,2,1,-1,1)|{[0,0,0; -1,1,0],
[0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};
E1=lux(genid(1,5,4,2,-2,1)|[0,4,0])|E;
E2=bb(L/(2*m),S/m)|E1;
E3=tran(2,C-S)|E2;
E4=verat(C,0,-B)|E3;
E5=pex|rosad(0,0,n,360/n)|E4;
Pyramid=capel(3,0,0,
L/sin(180/n),P)|E5;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,2*L,5.5*L, 0,0,0, 0,0,1);
```

clear; draw Pyramid;

برنامه^۱ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۸۲

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 182: Pellevated pyramid.
See Section 2.2 of Reference 2 and
References 4, 5 and 6. (*)
L=20; (*) Length of each side of base (*)
H=18; (*) Height of pyramid (*)
P=8; (*) Pellevational rise (*)
m=9; (*) Frequency (*)
n=5; (*) Number of sides of the base (*)
C=L/(2*tan|(180/n));
S=sqrt|(C*C+H*H);
B=atan|(H/C);
E1=genid(1,m,2,1,-1,1)|{[0,0,0; -1,1,0],
[0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};
E2=bb(L/(2*m),S/m)|E1;
E3=tran(2,C-S)|E2;
E4=verat(C,0,-B)|E3;
E5=pex|rosad(0,0,n,360/n)|E4;
Pyramid=capel(-3,0,0,
L/sin|(180/n),P)|E5;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,-L,2.5*L, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Pyramid;

برنامه^۲ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۸۳

(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 183: Pellevated Pyramid.
See Section 2.2 of Reference 2
and References 4, 5 and 6. (*)
L=20; (*) Length of each side of base (*)
H=20; (*) Height of pyramid (*)
P=6; (*) Pellevational rise (*)
m=15; (*) Frequency (*)
n=6; (*) Number of sides of the base (*)
C=L/(2*tan|(180/n));
S=sqrt|(C*C+H*H);
B=atan|(H/C);
mm=ric|(m/2)-1;
E=genid(1,m,2,1,-1,1)|{[0,0,0; -1,1,0],
[0,0,0; 1,1,0], [-1,1,0; 1,1,0]};
E1=lux(genid(1,5,4,2,-2,1)|[0,4,0])|E;
E2=bb(L/(2*m),S/m)|E1;
E3=tran(2,C-S)|E2;
E4=verat(C,0,-B)|E3;
E5=pex|rosad(0,0,n,360/n)|E4;
Pyramid=capel(-3,0,0,
L/sin|(180/n),P)|E5;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,2*L,3.5*L, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Pyramid;

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۸۴

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 184: Freeform (novated single layer grid with binate pattern and with corners held in position (novation mode 3 is used)). See References 9, 10 and 11. (*)

```
Grid=rinid(24,25,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
rinid(25,24,1,1)|[0,0,0; 0,1,0];
Corner=lamid(12,12)|[0,0,0];
Base={ [14,2,0], [8,18,0], [20,16,0],
[4,22,0] };
Target={ [14,2,5], [8,18,0], [20,16,3],
[4,22,2] };
Form=nov(3,1,Corner#Base,
Corner#Target)|Grid;
use &,vm(2),vt(2),vh(12,-24,24,
12,12,0, 12,12,1);
clear; draw Form;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۸۵

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 185: Freeform (pellevated single layer grid with binate pattern). See References 4, 5 and 6. (*)

```
Grid=rinid(40,41,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
rinid(41,40,1,1)|[0,0,0; 0,1,0];
Form=capel(3,12,16,20,4)|
capel(3,18,16,24,5)|
capel(3,24,20,28,6)|Grid;
Form=rel(U(1,3)>0 || U(2,3)>0)|Form;
use &,vm(2),vt(2),vh(20,-40,120,
20,20,0, 20,20,1);
clear; draw Form;
```

برنامه^{۱۸۶} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۸۶

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 186: Freeform (novated diamatic dome with nodes along 2/3 of the perimeter held in position (novation mode 2 is used)). See Section 2.5 of Reference 2 and References 9, 10 and 11. (*)

```
R=36;      (*) Radius of circumsphere (*)
A=40;      (*) Sweep angle (*)
m=8;       (*) Frequency (*)
n=6;       (*) Number of sectors (*)
E=genit(1,m,1,1,0,1){[1,0,0; 1,0,1],
  [1,0,0; 1,1,1], [1,0,1; 1,1,1]};
F=bd(R,360/n,A/m)|E;
Dome=pex|rosad(0,0,n,360/n)|F;
Edge=bd(R,360/n,A/m)|rin(2,33,-1)[1,m,m];
Sb=bd(R,360/n,A/m)[1,2*m,m];
Form=nov(2,1,Edge#Sb,Edge#
  tran(3,R/2)|Sb)|Dome;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3.5*R,
  0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Form;
```

برنامه^{۱۸۷} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۸۷

(*) Formian scheme for configurations similar to Fig 187: Freeform (pellelated diamatic dome). See Section 2.5 of Reference 2 and References 4, 5 and 6 (*)

```
R=36;      (*) Radius of circumsphere (*)
A=45;      (*) Sweep angle (*)
m=9;       (*) Frequency (*)
n=7;       (*) Number of sectors (*)
E=genit(1,m,3,3,0,1){[1,2,4; 1,1,2],
  [1,2,4; 1,1,5], [1,2,4; 1,4,5]}#
  rin(3,m+1,3)[1,1,2; 1,-1,2];
F=bd(R,360/n,A/(3*m))|E;
Dome=rosad(0,0,n,360/n)|F;
Form=verad(0,0,-45)|bapel(3,R/2,0,R/2,R/2,
  0.7*R,0.2*R)|bapel(3,-R/2,0,-R/2,R/2,
  0.7*R,0.2*R)|Dome;
use &,vm(2),vt(2),vh(R,R,3*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Form;
```


برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۸۸

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 188: Freeform (pellevated
compound hypar). See Section 3.2 of
Reference 3 and References 4, 5 and 6. (*)
L=20; (*) Length of side
of each hypar units in plan (*)
H=24; (*) Height of each unit(*)
m=8; (*) Semi-frequency of each unit(*)
P=H/(L*L); (*) Pitch (*)
n=2*m;
E=rinid(n,n+1,1,1)|[-m,-m,0; 1-m,-m,0]#
rinid(n+1,n,1,1)|[-m,-m,0; -m,1-m,0];
F=bhp(L/n,L/n,1,P)|E;
Hypar=pex|rosad(L/2,L/2)|F;
Form=bapel(3,0,0,0,L,L,L/2)|
bapel(3,L,0,L,L,L/2)|Hypar;
use &,vm(2),vt(2),
vh(0,-3*L,6*L, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Form;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۸۹

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 189: Freeform (pellevated
binate grid). See References 4, 5 and 6. (*)
L=40; (*) Length of each side of grid (*)
R=8; (*) Rise of pellevants (*)
m=24; (*) Frequency of grid (*)
A=L/2;
Grid=bb(L/m,L/m)|
(rinid(m,m+1,1,1)|[0,0,0; 1,0,0]#
rinid(m+1,m,1,1)|[0,0,0; 0,1,0]);
Form=capel(3,0,0,L,R)|capel(3,0,L,L,R)|
capel(3,L,0,L,R)|capel(3,L,L,L,R)|
capel(1,A,A,L*sqrt(2),R)|Grid;
use &,vm(2),vt(2),
vh(A,-L,1.5*L, A,A,0, A,A,1);
clear; draw Form;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۹۰

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 190: Freeform (pellevated
geodesic dome). See References
4, 5, 6, 7 and 8. (*)
RC=50; (*) Radius of circumsphere (*)
SP=30; (*) Span of cylindrical pellevant (*)
Rise=7; (*) Rise of pellevant (*)
m=9; (*) Frequency of dome (*)
t=sqrt(3);
D=pol(1,5,'[1-5]',RC,[0,0; 2*m,0])|
genid(m,m,2,t,1,-1)|rosad(1,t/3,3,120)|
[0,0; 2,0];
Geodome=dil(3,1/3)|
trac(1,[0,0,0,RC],4,-15)|D;
Form=bapel(3,0,0,0,10,SP,Rise)|Geodome;
use &,vm(2),vt(2),
vh(RC,RC,2*RC, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Form;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۹۱

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 191: Freeform (pellevated
ring barrel vault with binate pattern).
See References 4, 5 and 6 and Section 3.4
of Reference 3. (*)
S=60; (*) Span of barrel vault (*)
SP=80; (*) Span of cylindrical pellevants (*)
H=14; (*) Rise of barrel vault (*)
RP=16; (*) Rise of pellevants (*)
m=70; (*) Frequency in U2 direction (*)
n=10; (*) Frequency in U4 direction (*)
R=70; (*) Radius of annulus (*)
A=2*atan(2*H/S); (*) Sweep angle (*)
Q=S/(2*sin(A)); (*) Radius of
cross-section of annulus (*)
E=rinic(2,4,m,n+1,1,1)|
[1,0,1,-n/2; 1,1,1,-n/2]#
rinic(2,4,m+1,n,1,1)|
[1,0,1,-n/2; 1,0,1,1-n/2];
F=dep(4)|ba(R,360/m,Q,2*A/n)|E;
Form=bapel(3,0,0,R,0,SP,RP)|
bapel(3,0,0,0,R,SP,RP)|F;
use &,vm(2),vt(2),
vh(2*R,2*R,4*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Form;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۹۲

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 192: Freeform (paragenic
configuration). See Section 3.6 of
Reference 3. (*)
m=25; (*) Frequency (*)
E=rinit(m,m+1,1,1)|[1,0,0; 1,1,0]#
rinit(m+1,m,1,1)|[1,0,0; 1,0,1];
Form=bhp(1,1,1,0.01)|verad(0,0,-45)|
tran(2,25)|verat(0,0)|bc(1,7.5,1)|
verad(0,0,45)|bc(30,80/m,60/m)|E;
use &,vm(2),vt(2),
vh(30,30,60, 0,0,30, 0,1,30);
clear; draw Form;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۹۳

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 193: Hyperboloidal tower.
See Section 3.3 of Reference 3. (*)
H=30; (*) Height of tower (*)
H1=20; (*) Height at the neck of tower (*)
R=8; (*) Radius at the base of tower (*)
R1=3; (*) Radius at the neck of tower (*)
m=10; (*) Number of sides of the base (*)
n=5; (*) Number of rhombic units in
the vertical direction (*)
B=-2*n*H1/H;
P=(R*R-R1*R1)/(H1*H1);
E=rinit(m,n,2,2)|(lmit(0,B+1)|
[1,0,B; 1,-1,B+1]#[[1,-1,B+1; 1,1,B+1],
[1,0,B+2; 1,2,B+2]]);
Tower=bh(R1,360/(2*m),H/(2*n),P)|E;
use &,vm(2),vt(2),
vh(10*R,10*R,-R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Tower;
```

برنامه^{۱۹۴} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۹۴

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 194: Hyperboloidal tower.
See Section 3.3 of Reference 3. (*)
H=60; (*) Height of tower (*)
H1=50; (*) Height at the neck of tower (*)
R=8; (*) Radius at the base of tower (*)
R1=3; (*) Radius at the neck of tower (*)
m=6; (*) Number of sides of the base (*)
n=8; (*) Number of rhombic units in
the vertical direction (*)
B=-2*n*H1/H;
P=(R*R-R1*R1)/(H1*H1);
E=rinit(m,n,2,2)|(limit(0,B+1)|
[1,0,B; 1,-1,B+1]#{[1,-1,B+1; 1,1,B+1],
[1,0,B+2; 1,2,B+2]});
Tower=bh(R1,360/(2*m),H/(2*n),P)|E;
use &,vm(2),vt(2),
vh(10*R,10*R,-4*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Tower;
```

برنامه^{۱۹۵} فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۹۵

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 195: Conical tower.
See Section 3.3 of Reference 3. (*)
H=20; (*) Height of tower (*)
H1=80; (*) Height at the neck of tower (*)
R=8; (*) Radius at the base of tower (*)
R1=0; (*) Radius at the neck of tower (*)
m=10; (*) Number of sides of the base (*)
n=4; (*) Number of rhombic units in
the vertical direction (*)
B=-2*n*H1/H;
P=(R*R-R1*R1)/(H1*H1);
E=rinit(m,n,2,2)|(limit(0,B+1)|
[1,0,B; 1,-1,B+1]#{[1,-1,B+1; 1,1,B+1],
[1,0,B+2; 1,2,B+2]});
Tower=bh(R1,360/(2*m),H/(2*n),P)|E;
use &,vm(2),vt(2),
vh(10*R,10*R,-6*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Tower;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۹۶

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 196: Conical tower.
See Section 3.3 of Reference 3. (*)
H=22; (*) Height of tower (*)
H1=30; (*) Height at the neck of tower (*)
R=15; (*) Radius at the base of tower (*)
R1=0; (*) Radius at the neck of tower (*)
m=10; (*) Number of sides of the base (*)
n=4; (*) Number of rhombic units in
the vertical direction (*)
B=-2*n*H1/H;
P=(R*R-R1*R1)/(H1*H1);
E=rinit(m,n,2,2)|(lamit(0,B+1)
[1,0,B; 1,-1,B+1]#[[1,-1,B+1; 1,1,B+1],
[1,0,B+2; 1,2,B+2]]);
Tower=bh(R1,360/(2*m),H/(2*n),P)|E;
use &,vm(2),vt(2),
vh(10*R,10*R,-2*R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Tower;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۹۷

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 197: Cylindrical tower.
See Section 3.3 of Reference 3. (*)
H=20; (*) Height of tower (*)
H1=20; (*) Height at the neck of tower (*)
R=8; (*) Radius at the base of tower (*)
R1=8; (*) Radius at the neck of tower (*)
m=12; (*) Number of sides of the base (*)
n=4; (*) Number of rhombic units in
the vertical direction (*)
B=-2*n*H1/H;
P=(R*R-R1*R1)/(H1*H1);
E=rinit(m,n,2,2)|(lamit(0,B+1)
[1,0,B; 1,-1,B+1]#[[1,-1,B+1; 1,1,B+1],
[1,0,B+2; 1,2,B+2]]);
Tower=bh(R1,360/(2*m),H/(2*n),P)|E;
use &,vm(2),vt(2),
vh(10*R,10*R,-R, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Tower;
```

برنامه^۱ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۹۸

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 198: Lazy-tongs.
See Section 2.4 of Reference 2. (*)
T=90; (*) Control angle (*)
D=1.2; (*) Dimensions
of a duplet for T=90 (*)
m=5; (*) Frequency of duplets (*)
H=sqrt(2*D*sin(T/2));
V=sqrt(2*D*cos(T/2));
Fold=rin(1,m,H)|{[0,0,0; H,0,V],
[0,0,V; H,0,0]};
use &vn(250,150),vs(35),
vh(0, m*H,0, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Fold;
```

برنامه^۲ فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۱۹۹

```
(* Formian scheme for configurations
similar to Fig 199: Foldable double layer
grid. See Section 2.4 of Reference 2. (*)
T=120; (*) Control angle (*)
D=0.8; (*) Dimensions
of a duplet for T=90 (*)
m=6; (*) Frequency in the x-direction (*)
n=5; (*) Frequency in the y-direction (*)
H=sqrt(2*D*sin(T/2));
V=sqrt(2*D*cos(T/2));
Fold=rinid(m,n+1,H,H)|{[0,0,0; H,0,V],
[0,0,V; H,0,0]}#rinid(m+1,n,H,H)|
{[0,0,0; 0,H,V], [0,0,V; 0,H,0]};
use &vn(150,250),vs(35),
vh(m*H, n*H,15*H, 0,0,0, 0,0,1);
clear; draw Fold;
```

برنامه فرمینی برای تاشه‌های شبیه به شکل ۲۰۰

```
(*) Formian scheme for configurations
similar to Fig 200: Foldable double layer
barrel vault. See Section 2.4 of
Reference 2. (*)
T=140; (*) Control angle (*)
L1=0.8; (*) Length of
upper part of uniplet (*)
L2=0.7; (*) Length of
lower part of uniplet (*)
m=7; (*) Circumferential frequency (*)
n=5; (*) Longitudinal frequency (*)
L=L1+L2; T1=180-T;
D=sqrt(L1*L1+L2*L2-2*L1*L2*cos(T1));
D1=sqrt(L*L-D*D);
A=asin(L2*sin(T1)/D);
B=180+A-T;
R=D*sin(B/(sin(B)-sin(A)));
C=asin(L*sin(B)/R);
E=rinit(m,n+1,C,D1){[R-D,0,0; R,C,0],
[R,0,0; R-D,C,0]};#rinit(m+1,n,C,D1)
{[R-D,0,0; R,0,D1], [R,0,0; R-D,0,D1]};
F=bc(1,1,1)|E; P=m*C/2;
Fold=verad(0,0,90-P)|F;
use &,vn(150,100),vs(30),
vh(5,8*R,-12*R, 0,0,R, 0,1,R);
clear; draw Fold;
```

مراجع پیوست ۱-ب

1. Nooshin H and Disney P L, Formex Configuration Processing I, International Journal of Space Structures, Vol 15, 2000
2. Nooshin H and Disney P L, Formex Configuration Processing II, International Journal of Space Structures, Vol 16, 2001
3. Nooshin H and Disney P L, Formex Configuration Processing III, International Journal of Space Structures, Vol 17, 2002
4. Nooshin H, A Technique for Surface Generation, IASS Symposium, Stuttgart, Germany, October 1996
5. Hofmann I S, The Concept of Pellevation for Shaping of Structural Forms, PhD Thesis, University of Surrey, UK, 1999
6. Hofmann I S, The Concept of Pellevation for Shaping of Structural Forms, Fifth International Conference on Space Structures, University of Surrey, Published by Thomas Telford, 2002
7. Nooshin H, Disney P L and Champion O C, Computer-Aided Processing of Polyhedric Configurations, Chapter 12 in Beyond the Cube, Edited by J F Gabriel, John Wiley, 1997
8. Champion O C, Polyhedric Configurations, PhD Thesis, University of Surrey, UK, 1997
9. Nooshin H, Albermani F G A and Disney P L, Novational Transformations, IASS Colloquim on Structural Morphology, Nottingham, UK, August 1997
10. Nooshin H and Moghimi M, Formex Formulation of Freeform Structural Surfaces, Second National Conference on Space Structures, Teheran, Iran, May 2007
11. Moghimi M, Formex Configuration Processing of Compound and Freeform Structures, PhD Thesis, University of Surrey, UK, 2006
12. Nooshin H, Tomatsuri H and Fujimoto M, Scallop Domes, IASS Symposium, Singapore, November 1997

پیوست ۲

گونه‌های اتصالات و پیوندها
در سازه‌های فضاکار شبکه‌ای

مقدمه

با توجه به انواع گوناگون اعضا و شیوه و وسایل اتصال، انواع متنوع سیستم‌های سازه‌های فضاکار ابداع گردیده‌اند. این سیستم‌ها با نام شرکت سازنده و یا شخص پیشنهاد دهنده شناخته می‌شوند. با گذشت زمان تعداد این نوع سیستم‌ها افزون‌تر گشته است. در یک تقسیم‌بندی کلی، سیستم‌های گوناگون متداول سازه‌های فضاکار را می‌توان در سه نوع گنجانده:

الف- سیستم گرهی (پیوندهای)، ب- سیستم واحدی، ج- سیستم ترکیبی.

در این پیوست به طور اجمالی به معرفی نمونه‌های متداولی از سیستم‌های مذکور در فوق پرداخته شده و کوشش به عمل آمده است که مزایا و معایب اصلی آنها مورد اشاره قرار داده شوند.

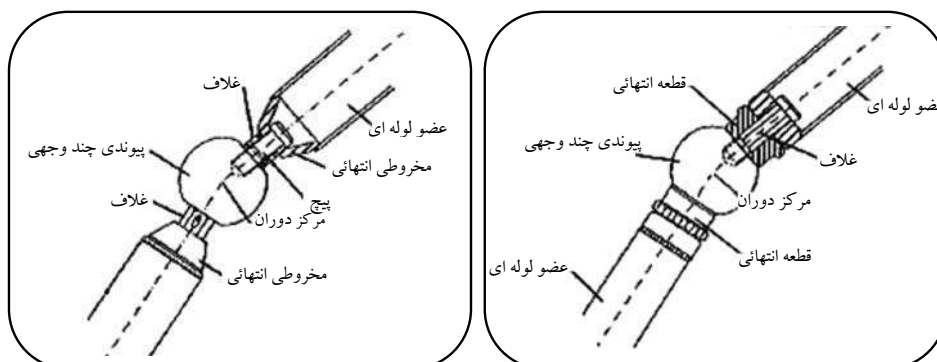
۱- سیستم گرهی (پیوندهای)

سیستم‌هایی هستند که شامل پیوندها و اعضا می‌باشند. به طوری که این پیوندها، به صورت واسطه‌ای بین اعضا قرار می‌گیرند. سیستم‌های از نوع پیوندهای با توجه به نوع کاربرد آنها در شبکه‌ها، چلیک‌ها و گنبدها به پنج گروه تقسیم‌بندی می‌شوند:

- ۱- پیونده گوی‌سان، ۲- پیونده نیامی، ۳- پیونده صفحه‌ای، ۴- پیونده شکافی، ۵- پیونده پوسته‌ای.
- از هر یک از پنج سیستم فوق نیز انواع متنوعی ابداع شده است.

۱-۱- سیستم‌های پیونده گوی‌سان

این سیستم‌ها، از یک پیونده گروی یا چندوجهی، اعضا و وسایل اتصال‌دهنده تشکیل شده‌اند. شکل ۱، دو نمونه از این سیستم را نشان می‌دهد.



شکل (۱): دو نمونه از سیستم پیونده گوی‌سان

به طور کلی، نقش اصلی پیونده در سازه‌های فضاکار، همچنان که روشن است به هم پیوستن اعضا و انتقال نیرو بین اعضای متصل‌شونده به آن پیونده است.

شکل ۱ قسمت (الف)، حالتی را نشان می‌دهد که فقط نیروی محوری از لوله به گره انتقال می‌یابد و قسمت (ب)، حالتی را ارایه می‌دهد که نیروی محوری به همراه درصدی از لنگر خمشی، انتقال می‌یابد.

در اکثر سیستم‌های گوی‌سان از جمله این سیستم، اعضا به شکل لوله‌ای بوده و محورهای مرکزی آنها از مرکز پیونده عبور می‌کند. به طور کلی در تمامی سیستم‌ها، دو دلیل عمده، برای کاربرد اعضا به صورت لوله‌ای وجود دارد:

– گشتاور اینرسی یک عضو لوله‌ای با مقطع دایروی، در تمامی جهات یکسان بوده و در نتیجه با در نظر گرفتن نیروی فشاری و کماتش اعضا، اقتصادی ترین مقاطع به شمار می‌روند.

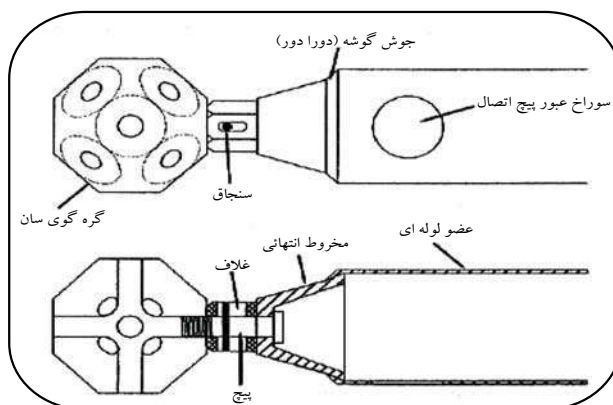
– قطر خارجی اعضا لوله‌ای را در مجموعه سیستم سازه‌ای می‌توان ثابت نگه داشت، به گونه‌ای که برای ظرفیت باربری‌های متفاوت، از ضخامت جدار متفاوت استفاده نمود. در این صورت، سازه از زیبایی و نظم خاصی برخوردار خواهد بود.

سیستم‌های گوی‌سانی که به آنها اشاره خواهد شد، عبارت‌اند از:

در سطور زیر نمونه‌هایی از سیستم‌های گره‌ی گوی‌سان به اختصار معرفی شده‌اند.

۱-۱-۱- سیستم پیونده گوی‌سان KK: این سیستم، اولین سیستم تجاری سازه‌های فضاکار است که به وسیله شرکت

Mero ارایه شده و بیشترین کاربرد آن در سازه‌های صنعتی بوده است. این سیستم در سال ۱۹۴۲ طراحی شده است. امروزه، این سیستم بیشتر در سازه‌هایی از قبیل آشیانه‌های هواپیما، استادیوم‌های ورزشی، تالارهای چندمنظوره، سایبان‌ها و غیره به کار برده می‌شود. شکل ۲، نما و مقطعی از سیستم KK را نشان می‌دهد.



شکل (۲): سیستم KK (Mero)

این سیستم شامل کره فلزی توپر با سوراخ‌های رزوه شده، اعضا لوله‌ای، مخروط انتهایی، غلاف و پیچ اتصال می‌باشد. مطابق شکل ۲، به منظور اصلاح محل نشست غلاف و از بین بردن خطای ناشی از تولید انبوه، اطراف سوراخ‌های موجود در گوی، به صورت یک سطح صاف تولید شده است.

پیونده‌های KK به روش کوبن کاری به شرح زیر تولید می‌شوند:

(۱) گوی‌های کرومی توپر بوسیله کوبن کاری تولید می‌شوند. ترتیب که یک میلگرد استوانه‌ای را به طول مشخص بریده و تحت

حرارت قرار می‌دهند، سپس به وسیله دو قالب نیم‌کره‌ای آن را تحت فشار قرار داده و به صورت کرومی در می‌آورند.

(۲) بر روی کره توپر ساخته شده، عملیات ماشین کاری و به دنبال آن سوراخ کاری صورت می‌گیرد و سوراخ‌ها از درون روزه می‌شوند.

(۳) پیونده‌ها به طور کامل گالوانیزه می‌شوند.

۴) سوراخ‌های اضافی که به هیچ عضوی متصل نمی‌شوند، بوسیله درپوش پلاستیکی برای جلوگیری از خوردگی‌های داخلی بسته می‌شوند.

روش تولید اعضای سیستم، نیز به قرار زیر می‌باشد:

(۱) یک لوله با ضخامت مشخص، به طول معین بریده می‌شود.

(۲) مخروط‌های انتهایی به هر دو سر لوله جوش کاری می‌گردند.

(۳) لوله‌ها به همراه مخروط‌های انتهایی جوش شده، گالوانیزه می‌شوند.

نحوه برقراری اتصال به شرح زیر می‌باشد:

(۱) پیچ‌ها از سوراخ نزدیک انتهای لوله، جاگذاری می‌گردند.

(۲) به وسیله یک پین، غلاف و پیچ به هم متصل و سفت می‌گردند.

نکته‌ای که می‌توان در مورد این سیستم بیان نمود، این است که سوراخ ایجادشده در نزدیک انتهای لوله، برای جاگذاری پیچ،

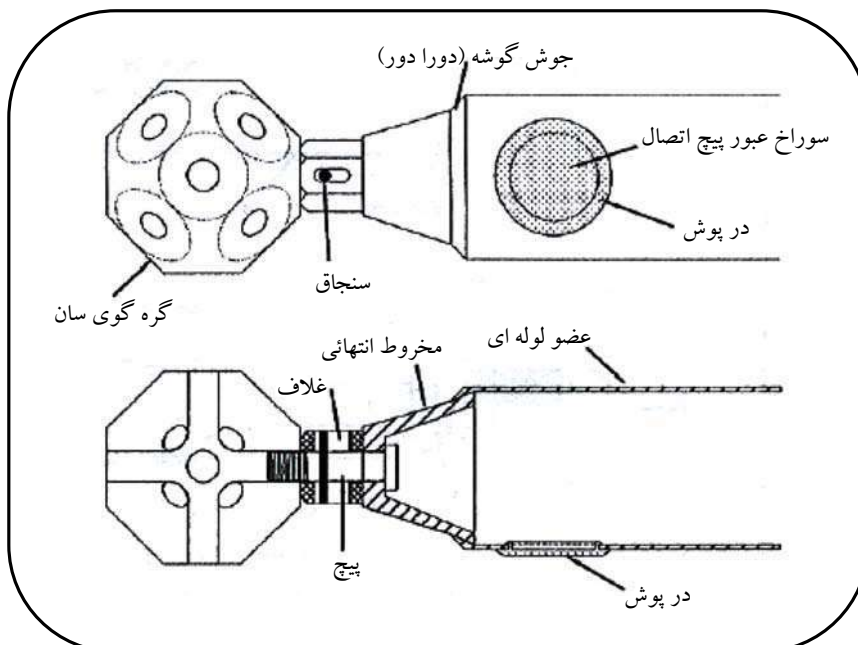
را می‌توان یک نقیصه تلقی نمود که در بسیاری از کاربردها ایجاد اشکال نمی‌نماید، ولی در برخی دیگر باید کنترل‌های لازم برای اثر

حضور این سوراخ در مقاومت عضو کمانش موضعی و خستگی مورد بررسی قرار داده شود.

حداکثر تعداد اعضای قابل اتصال به این نوع پیونده ۱۸ عضو می‌باشد.

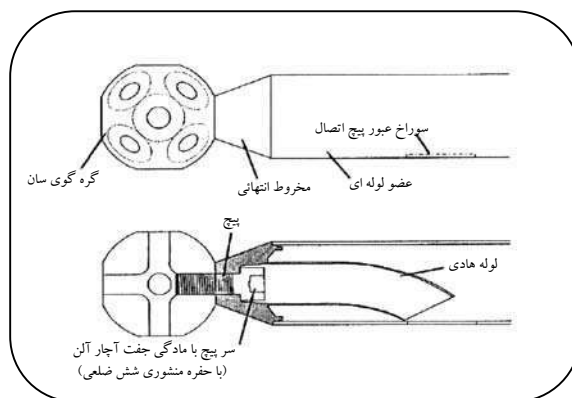
سیستم دیگری نیز بنام سیستم Uzaykon ارایه شده است که از نظر نحوه برقراری اتصال و ادوات اتصال همانند سیستم KK

می‌باشد اما با این تفاوت که پیونده گوی‌سان به کارگرفته شده در این سیستم از نوع توخالی است (شکل ۳).



شکل (۳) : سیستم Uzaykon

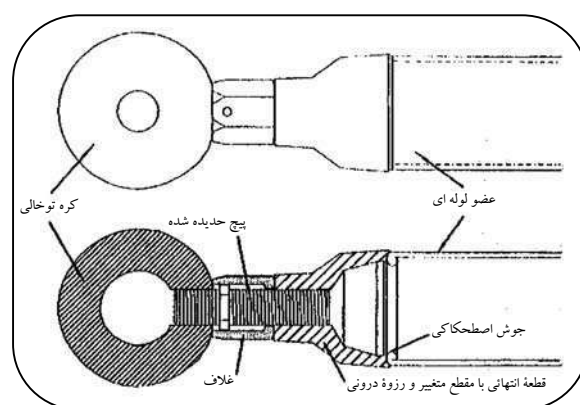
۱-۱-۲- سیستم پیونده گوی سان RUPP MANTAL: این سیستم در دو نوع متفاوت وجود دارد. نوع اول آن، پیونده- ای کروی با اعضا لوله‌ای (با مقطع دایروی) بوده و نوع دوم، پیونده‌ای چندوجهی با اعضای قوطی‌شکل با (با مقطع راست‌گوشه) می- باشد. در شکل ۴، نمونه‌ای از نوع اول آن ارایه شده است.



شکل (۴): سیستم KRUPP MANTAL

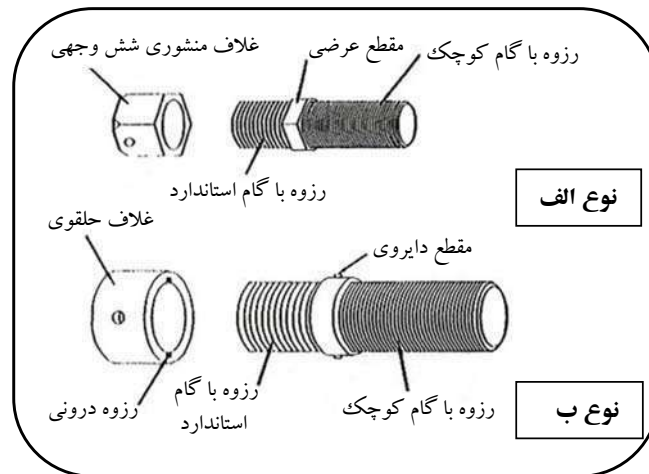
مطابق شکل ۴، در این سیستم، از حد واسطی مابین مخروط و پیونده استفاده نشده و مخروط انتهایی مستقیماً با پیونده در تماس است. در این سیستم، از پیچ‌هایی استفاده می‌شود که در سر آنها برای سفت کردن پیچ با آچار ویژه شش وجهی نظیر آچار آلن، مادگی متناسب تعبیه شده است.

۱-۱-۳- سیستم پیونده گوی سان ZUBLIN: شکل ۶ مقطعی از این سیستم را نشان می‌دهد. مطابق شکل، اجزای سازنده این سیستم شامل یک کره توخالی، اعضا لوله‌ای، پیچ، مخروط انتهایی و یک غلاف حلقوی می‌باشد. از مزیت‌های سیستم، این است که می‌توان پیونده قادر به پذیرش ۱۸ عضو در اتصال می‌باشد (شکل ۵).



شکل (۵): سیستم ZUBLIN

پیچ‌های به کار رفته در این سیستم نیز، مطابق شکل ۶ می‌باشد.



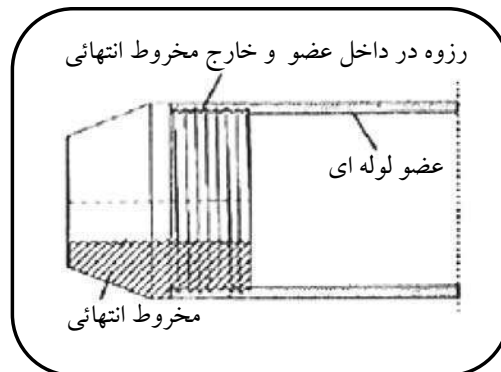
شکل (۶): انواع پیچ‌های سیستم ZUBLIN

مطابق شکل، هر پیچ از دو قسمت رزوه‌ای مختلف تشکیل شده که یک غلاف واسط با رویه شش وجهی یا استوانه‌ای مابین آنها قرار دارد و با استفاده از همین پیچ سفت می‌گردد. یک سوراخ نیز برای بازدید و مطمئن شدن از سفتی پیچ تعبیه شده است. در گام اول تولید پیونده یک صفحه گرد فلزی در قالب U شکلی تحت اثر حرارت در کوره کوبن کاری می‌شود تا صفحه به صورت U شکل درآید. در گام بعدی قسمت باز فوقانی را، تحت فشار توسط قالب دیگری می‌بندند. در خاتمه یک سوراخ در بالای پیونده باقی می‌ماند که می‌تواند رزوه شده و محل اتصال اولین پیچ باشد.

گام‌های تولید اعضا نیز به شرح زیراند:

(۱) برای سایز معمول لوله‌ها، با قطر 60 mm تا 130 mm ، اتصال به روش جوش کاری اصطکاکی صورت می‌گیرد. به این ترتیب که مخروط انتهایی را در دستگاه چرخانی قرارداده و لوله را به صورت هم محور به طرف آن حرکت می‌دهند تا محل اتصال لوله و مخروط انتهایی گداخته شود. سپس دوران را متوقف ساخته و لوله را با اعمال نیروی فشاری به مخروط متصل می‌کنند. انجام این فرآیند جوش کاری در حدود ۲ تا ۱۵ ثانیه طول می‌کشد.

(۲) در لوله‌های با ابعاد کوچک‌تر، انتهای لوله رزوه شده و مخروط انتهایی به شکل ۷، به آن پیچ می‌شود.

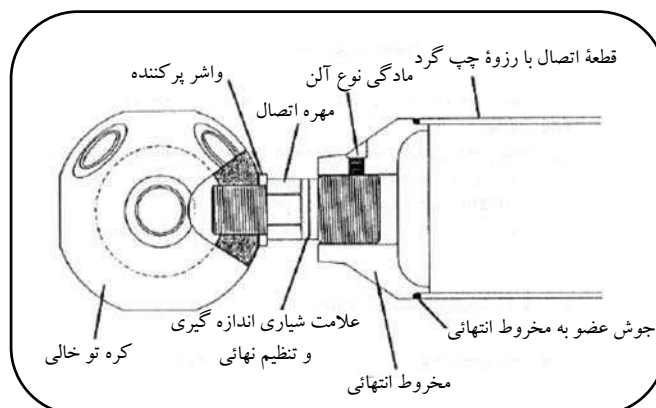


شکل (۷): نحوه اتصال مخروط انتهایی به اعضای لوله‌ای

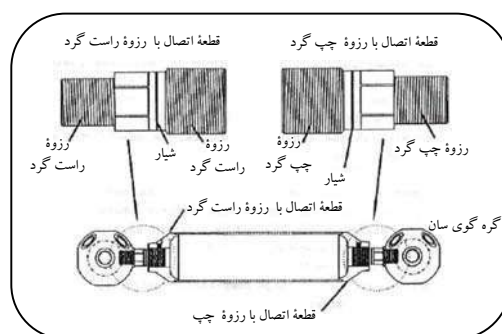
۳) برای اعضای تحت فشار زیاد و کشش اندک و با قطر خارجی 159 mm تا 219 mm ، اتصال مخروط به این ترتیب انجام می شود که مخروط انتهایی به صورت درپوش داخل لوله، تحت فشار قرار می گیرد. سپس در همان حالت چهار پین داخل سوراخ هایی که قبلاً تعبیه شده اند، قرار داده می شوند.

۱-۱-۴- سیستم پیونده گوی سان UNITRUS: این سیستم که توسط شرکت TOMOE ارایه شده است، از یک کره

تو خالی کوبن کاری شده، اعضا لوله ای و وسایل اتصال تشکیل شده است. شکل ۸، مقطعی از این سیستم را نشان می دهد.



شکل (۸): سیستم UNITRUS

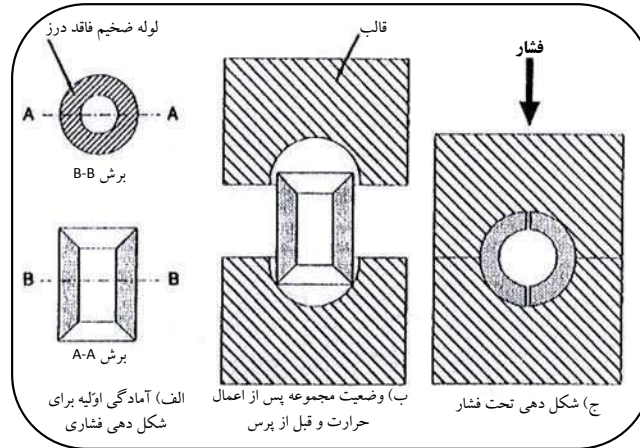


شکل (۹): نحوه اتصال اعضای به پیونده ها در سیستم UNITRUS

پیچ های به کار رفته در این سیستم دارای شکل ویژه ای هستند. شکل ۹، جزئیات پیچ ها را نشان می دهد. مطابق شکل، این پیچ ها به صورت دو نوع راست گرد و چپ گرد می باشند. همچنین با توجه به اینکه دو نوع پیچ مورد استفاده قرار می گیرد، پیونده ها نیز به دو صورت چپ گرد و راست گرد رزوه می گردند. مزیتی که چنین پیچ هایی دارا هستند، این است که می توان با چرخاندن لوله فاصله مابین دو پیونده را کم و زیاد نموده و تنظیم کرد و در صورت نیاز در شبکه دولایه پیش خیز ایجاد نمود. البته بیشینه محدوده ای که در این سیستم برای تنظیم وجود دارد 5 mm می باشد.

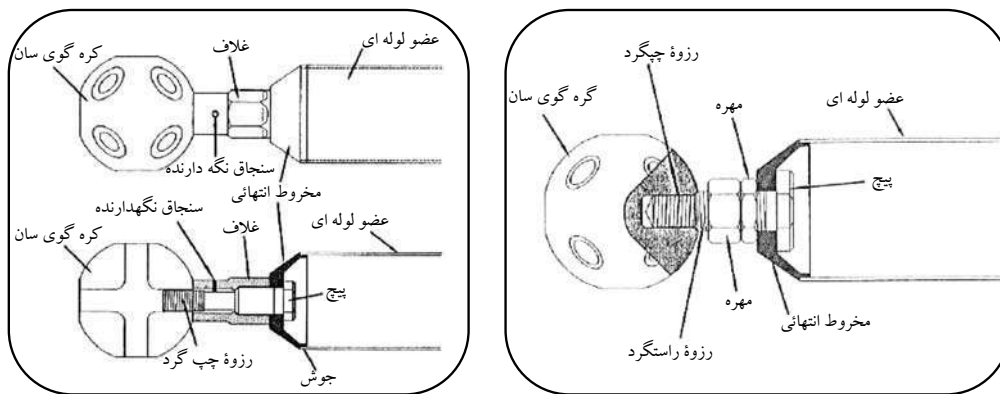
مطابق شکل ۹، پیچ کوچکی نیز پس از تنظیم فاصله بین پیونده ها برای جلوگیری از دوران عضو به کار می رود. با توجه به پیچیدگی تولید انبوه سیستم و جلوگیری از بروز اشتباه، برای ساخت سیستم از سیستم های کنترل عددی بهره گیری می شود. شکل ۱۰، روند تولید این پیونده را نشان می دهد. به این صورت که لوله ای با طول مشخص در دمای 900°C داخل قالب قرار داده شده و به

صورت کره توخالی در آورده می‌شود. سوراخ کاری این کره‌ها نیز با سیستم کنترل عددی انجام شده و مشابه سیستم KK، اطراف سوراخ‌ها ماشین کاری می‌گردد.



شکل (۱۰): روند تولید پیونده UNISTRUSS

۱-۵- سیستم پیونده گوی سان ORONA: این سیستم به دو صورت سیستم ELKAR و ORTZ ارائه شده است. سیستم ORTZ که در شکل ۱۱ مشاهده می‌گردد، سیستم قدیمی ORONA بوده است که بعد از اصلاح سیستم مطابق شکل ۱۲، به سیستم ELKAR موسوم گردیده است.

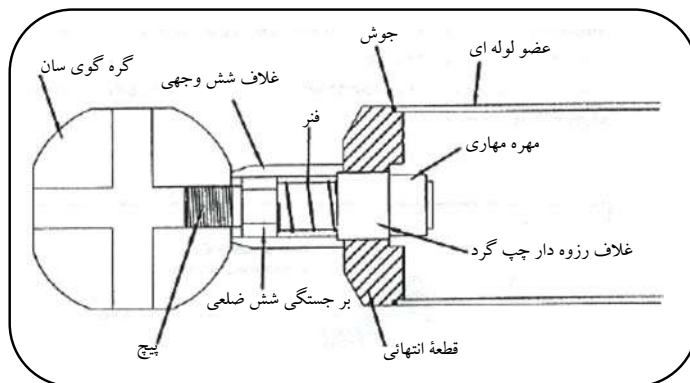


ELKAR : ()

ORTZ : ()

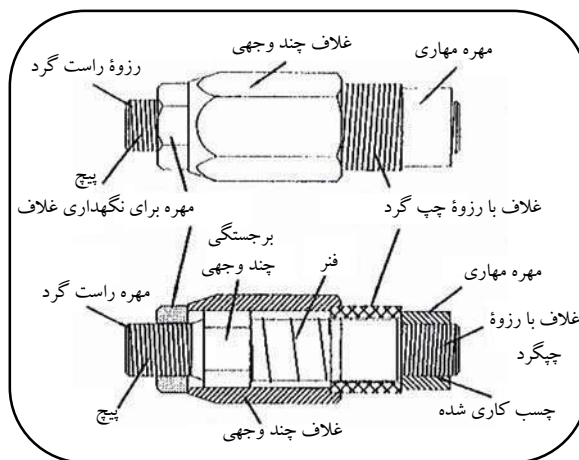
هر دو سیستم شامل پیونده گوی سان، اعضا لوله‌ای، پیچ‌ها و مهره‌ها می‌باشند. پیونده‌ها به صورت کروی توپر بوده که سوراخ کاری و رزوه می‌گردند. قبل از جوش کاری مخروط انتهایی به لوله‌ها، یک پیچ داخل مخروط قرار داده شده و با یک مهره نازک در جای خود سفت می‌شود. پس از جوش کاری مخروط انتهایی به لوله‌ها، رنگ کاری صورت می‌گیرد. تفاوتی که دو سیستم فوق دارند در این است که، پیچ‌های سیستم ORTZ، از دو قسمت مختلف رزوه شده تشکیل شده‌اند که به صورت چپ گرد (متصل به پیونده) و راست گرد (متصل به عضو) ساخته شده‌اند، اما پیچ‌های به کار رفته در سیستم ELKAR، فقط از یک قسمت رزوه شده چپ گرد تشکیل شده‌اند که با یک پین به غلاف روئین متصل می‌گردند.

۱-۱-۶- سیستم پیونده گوی سان KT-TRUSS: این سیستم اخیراً توسط یک شرکت ژاپنی ارایه شده است. اجزای این سیستم شامل پیونده گوی سان، اعضا لوله ای و قطعات اتصال دهنده می باشند. این سیستم از لحاظ کلیات طراحی پیونده نظیر سیستم KK شرکت Mero است. شکل ۱۳، مقطعی از آن را نشان می دهد.



شکل (۱۳): سیستم KT-TRUSS

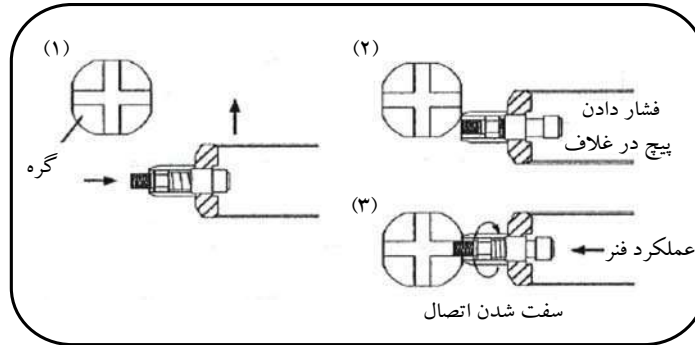
همچنین سیستم دارای پیچ ویژه ای است که موسوم به پیچ KT-TRUSS می باشد که جزئیات مربوط به این پیچ در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



شکل (۱۴): جزئیات پیچ KT-TRUSS

پیچ KT-TRUSS، شامل دو قسمت رزوه شده در انتهاها و یک برجستگی شش ضلعی در قسمت میانی می باشد. مزیتی که این پیچ نسبت به سایرین دارد در این است که برای بستن آن نیاز به آچار یا وسیله دیگری نمی باشد. نحوه مونتاژ آن به این صورت است که از یک سمت یک فنر را در قسمت رزوه نشده پیچ قرارداد، غلافی را که سطح روئین آن رزوه شده، بر آن مستقر کرده و با یک مهره آن را سفت می کنند. از سمت دیگر، غلاف دیگری را قرارداد و به وسیله یک مهره، که در هنگام مونتاژ آن را باز خواهند کرد، آن را در محل خود نگهداری می کنند. پس از مونتاژ پیچ، آن را به قطعه انتهایی لوله می بندند. با انجام مراحل فوق سیستم آماده مونتاژ خواهد بود. روند مونتاژ به این صورت است که مهره مربوط به غلاف بزرگ تر را باز کرده و پیچ را به طرف لوله فشار می دهند. در اثر فشار وارده، پیچ به طرف داخل لوله حرکت کرده و فنر جمع می گردد. پس از اینکه پیچ در مقابل سوراخ رزوه شده

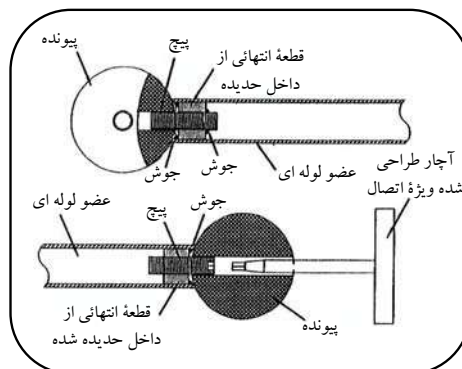
پیونده قرار گرفت، نیروی فنر باعث چرخش پیچ شده و اتصال صورت می‌گیرد. در شکل ۱۵، نحوه مونتاژ عضو به پیونده نشان داده شده است.



() :

۱-۷- سیستم پیونده گوی سان SCAN SPACE: این سیستم توسط یک مهندس دانمارکی ارایه شده است. اجزای

این سیستم شامل پیونده گوی سان، اعضای لوله‌ای و پیچ‌ها می‌باشد. شکل ۱۶، مقطعی از این سیستم را نشان می‌دهد.



شکل (۱۶): سیستم SCAN SPACE

مطابق شکل، پیچ‌ها به قسمت انتهایی لوله‌ها، بسته می‌شوند. بستن پیچ‌ها در این سیستم به دو صورت انجام می‌گیرد. به صورتی که یکی از دو پیچ عمود بر یکدیگر، از پیش به لوله جوش شده و دیگری به وسیله یک آچار ویژه، از داخل پیونده به لوله بسته می‌شود.

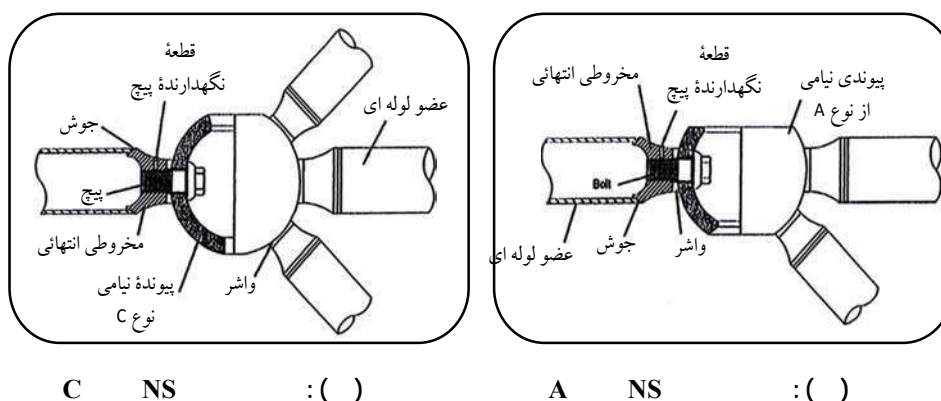
۱-۲- سیستم‌های پیونده نیامی (Socket Joint Systems)

این سیستم‌ها، همانند سیستم‌های گوی سان توخالی هستند، با این تفاوت که دارای یک قسمت باز در یک یا دو طرف پیونده می‌باشند. قسمت‌های باز پیونده برای ورود و بستن پیچ‌ها از درون پیونده در نظر گرفته شده‌اند. بستن پیچ‌ها از درون، این مزیت را دارد که نیازی به رزوه کردن پیونده نمی‌باشد. با این همه باید توجه داشت که انعطاف‌پذیری و تغییر شکل پیونده‌های نیامی با توجه به توخالی بودن باید در حد قابل قبولی محدود گردد، در غیراین صورت مفروضات تحلیل بدون در نظر گرفتن اثر این تغییر شکل‌ها به نتایج نادرست منتهی خواهد شد. تغییر شکل‌های پیونده‌های نیامی در صورتی که قابل ملاحظه باشند در رفتار سازه فضاکار تأثیرگذار بوده و باید در رفتار آنها در تحلیل ملحوظ گردد. در این حالت به طور معمول لازم خواهد بود آزمایش‌ها برای به دست آوردن

منحنی‌های رفتار نیرو و تغییر شکل این پیوندها تحت تأثیر نیروهای چند محوری فشاری و کششی محتمل تهیه گردد و در تحلیل به کار گرفته شود.

۱-۲-۱- سیستم پیونده نیامی (Nippon steel) NS: شکل‌های ۱۷ و ۱۸ نماها و مقاطع شماتیک این سیستم را نشان می‌دهند.

اجزای سیستم شامل پیونده نیامی، اعضاء لوله‌ای، پیچ‌ها و واشرها می‌باشند.



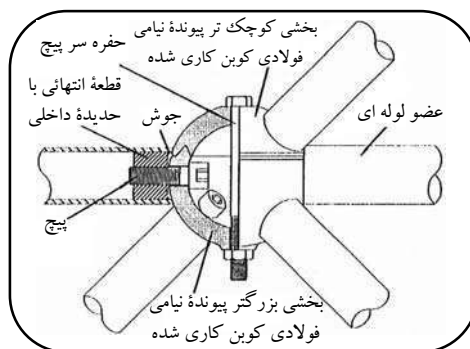
C NS : ()

A NS : ()

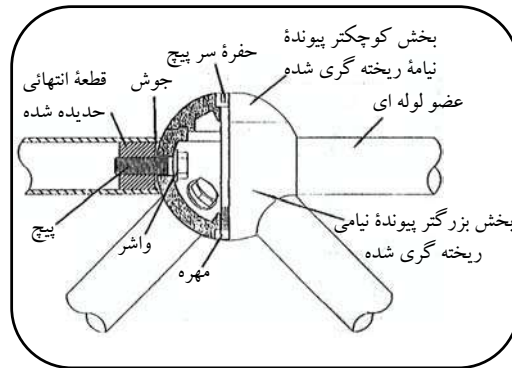
سیستم NS، دارای دو نوع مختلف برای ابعاد متفاوت است. سیستم نوع A، با مقطعی مطابق شکل ۱۷ با دو قسمت باز در پایین و بالا، با اندازه قطر پیونده 110 mm تا 290 mm و سیستم نوع C با مقطعی مطابق شکل ۱۸، با یک قسمت باز و اندازه قطر پیونده 190 mm تا 430 mm می‌باشد. برای سیستم نوع A محدودیتی وجود دارد و آن نسبت عمق به بعد چشمه شبکه است که باید کمتر از $0/65$ باشد. اعضا در این سیستم، شامل لوله‌ها و مخروط‌ها می‌باشند. مخروط انتهایی به لوله جوش شده و با پیچ به پیونده متصل می‌گردد. سطح در تماس با پیونده سر پیچ و واشر به کار رفته مابین پیونده و مخروط انتهایی، برای تماس مناسب به صورت منحنی در آورده می‌شود.

۱-۲-۲- سیستم پیونده نیامی SPHEROBAT: این سیستم توسط De Chateau و Batiment ارائه شده است و در دو

نوع فولادی و آلومینیومی تولید گردیده است. هر دو نوع سیستم فوق، دارای دو قسمت تحتانی و فوقانی هستند که به وسیله یک پیچ به هم متصل می‌گردند. سطوح در تماس سر پیچ و واشر به کار رفته مابین پیونده و مخروط انتهایی، برای تماس مناسب به صورت انحنا دار ساخته شده‌اند. شکل ۱۹ نوع فولادی اتصال را نشان می‌دهد. چنانکه ملاحظه می‌گردد، تفاوت این سیستم‌ها، در قسمت‌های انتهایی اعضاء لوله‌ای است.



شکل (۱۹): سیستم نیامی SPHEROBAT (فولادی)



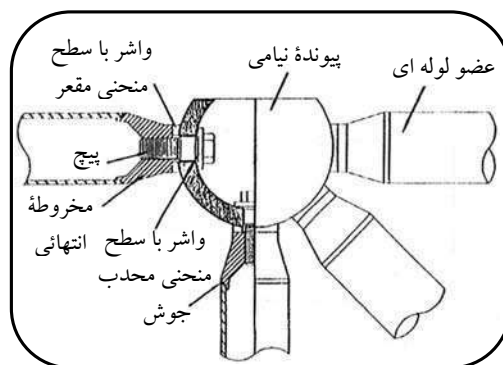
شکل (۲۰): سیستم نیامی SPHEROBAT (آلومینیومی)

۳-۲-۱- سیستم پیونده نیامی UBALL: این سیستم به وسیله یک معمار هلندی ارایه شده است. سیستم شامل پیونده کروی به صورت دو تکه، اعضای لوله‌ای، پیچ، مهره و واشر می‌باشد. شکل ۲۱، نمونه‌ای از این اتصال را نشان می‌دهد.

در این سیستم پیونده از دو قسمت تشکیل شده است. قسمت کوچک‌تر آن که حدود یک چهارم کل پیونده را تشکیل می‌دهد، به صورت کلاهکی روی قسمت دیگر نصب شده و به وسیله پیچ به یکدیگر جفت می‌شوند. پیونده از مصالح آلومینیومی یا چدن گرافیتی دانه‌ای ساخته می‌شود. در انتهای اعضا از قطعه ریخته‌گری شده برای بستن پیچ‌ها استفاده می‌گردد. در مواردی که جنس قطعه انتهایی از فولاد باشد، یک سوراخ برای گالوانیزه کردن فولاد، تعبیه می‌گردد.

قطر استاندارد این پیونده‌ها، 110mm ، 135mm و 162mm بوده و ضخامت جدار آنها از 4mm تا 20mm ، تغییر می‌کند. قطر استاندارد اعضا ساخته شده از آلومینیوم از 40mm تا 150mm و ضخامتشان از 3mm تا 10mm تغییر می‌کند و در صورتی که این اعضا از فولاد ساخته شده باشد، دارای قطری حدود 38mm تا 194mm و ضخامت 2mm تا 4mm خواهند بود. این سیستم برای چلیک‌ها و گنبد‌ها، اعم از دولایه و تک لایه قابل کاربرد می‌باشد.

۴-۲-۱- سیستم پیونده نیامی کاسان (آکام فلز): این سیستم توسط یک شرکت ایرانی به نام آکام فلز ارایه شده است. اجزای این سیستم شامل پیونده نیامی، اعضای لوله‌ای، پیچ‌ها و واشرها می‌باشد (شکل ۲۱).



شکل (۲۱): سیستم نیامی کاسان

این سیستم دارای یک قسمت باز برای بستن پیچ‌ها می‌باشد. روش تولید آن نیز مشابه سیستم گوی‌سان Zublin، به صورت کوبن‌کاری است. پیوندها در دو مرحله کوبن‌کاری شده به شکل نهایی در می‌آیند. در پی آن رویه پیونده تراش‌کاری و سوراخ‌کاری می‌شوند. سوراخ‌کاری پیونده، به روش نیمه اتوماتیک در یک قاب قابل تنظیم صورت می‌گیرد. قطر لوله‌های مورد استفاده در این سیستم از 60 mm تا 250 mm تغییر می‌کند.

مطابق شکل ۲۱، واشرهای مورد استفاده برای سیستم دارای سطوح منحنی متناسب با انحنا پیونده هستند و در سمت درونی واشرها از نوع فنری می‌باشند.

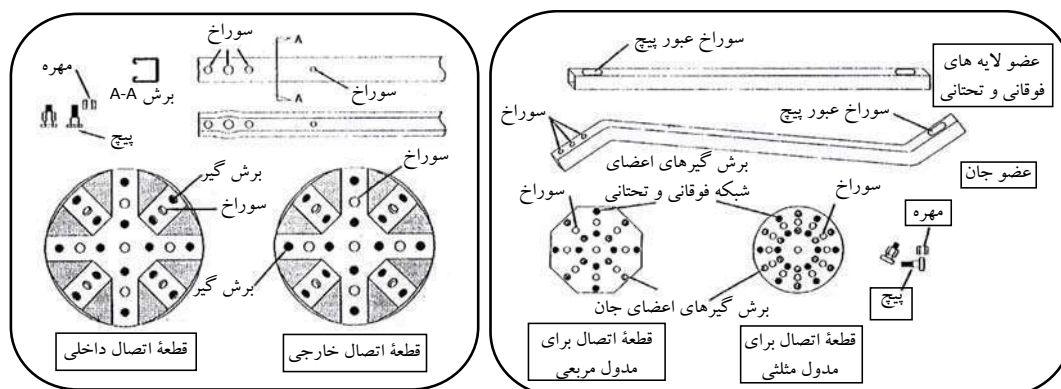
واشرهای با انحنا مقعر مابین مخروط و پیونده، و واشرهای با انحنا محدب مابین سرپیچ و پیونده قرار می‌گیرند.

۱-۳- سیستم‌های پیونده صفحه‌ای

این سیستم‌ها از یک پیونده صفحه‌ای، اعضا، پیچ‌ها و مهره‌ها تشکیل شده‌اند. تفاوتی که این سیستم با سیستم گوی‌سان دارد در نحوه انتقال نیرو است. انتقال نیرو در سیستم پیونده گوی‌سان از طریق پیچ در کشش و قطعات انتهایی در فشار صورت می‌گیرد، در حالیکه انتقال نیرو در این سیستم‌ها، از طریق برش از پیچ به پیونده منتقل می‌گردد.

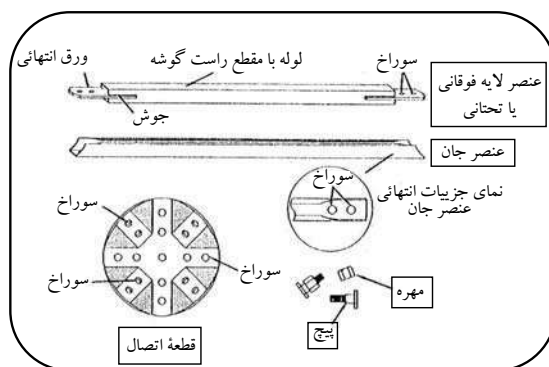
۱-۳-۱- سیستم‌های پیونده صفحه‌ای KETRUS، POWER STRUT، UNISTRUT: پیونده این سه سیستم

فقط از یک صفحه تشکیل شده است. شکل هندسی آن، در سیستم Power-strut به صورت تخت و در سیستم‌های UNISTRUT، KETRUS به صورت غیرتخت می‌باشد. اشکال ۲۲، ۲۳ و ۲۴ اجزای این سیستم‌ها را نشان می‌دهند.



شکل (۲۳): قسمت‌های اصلی سیستم Power-strut

شکل (۲۲): قسمت‌های اصلی سیستم UNISTRUT



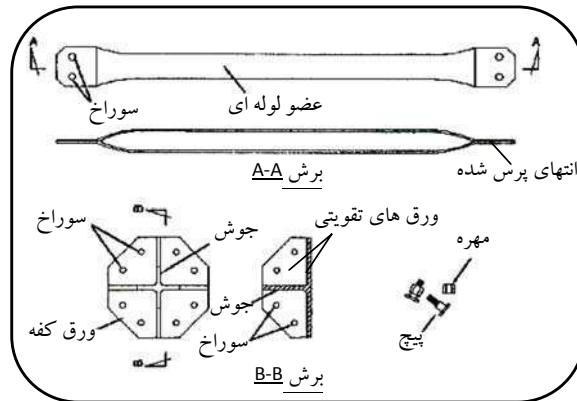
KETRUS

() :

تفاوت دیگری که مابین سیستم‌های فوق وجود دارد در این است که در سیستم‌های UNISTRUT و POWERSTRUT برای اتصال اعضا به پیونده از یک پیچ و دو برش‌گیر و در سیستم KETRUS از دو پیچ استفاده می‌گردد. با توجه به شکل پیوندها، اعضای به کار رفته در این سیستم‌ها می‌توانند مقاطع گوناگونی داشته باشند. این سیستم‌ها در سازه‌های فضاکار کاربرد فراوانی دارند. به طوری که سیستم UNISTRUT در شبکه‌های چندلایه مسطح مربع روی مربع، سیستم POWERSTRUT، در شبکه‌های چند لایه، شبکه‌های قطری، شبکه‌های مثلثی (سه‌راهی) و سیستم KETRUS در شبکه‌های دولایه مربع روی مربع به کار می‌روند.

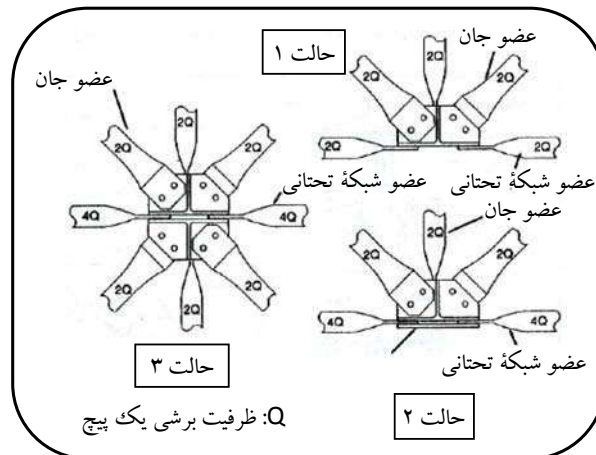
۱-۳-۲- سیستم‌های پیونده صفحه‌ای OCTATUBE، TRIDIMATEC، TORUS GESTO PARTO: پیونده

این سیستم‌ها، از دو صفحه تحتانی و فوقانی (به جز حالت ۱، در سیستم OCTATUBE) تشکیل یافته‌اند. سیستم پیونده OCTATUBE، شامل یک صفحه هشت ضلعی، دو نیم صفحه هشت ضلعی، اعضای لوله‌ای با انتهای له‌شده، پیچ و مهره می‌باشد. در این سیستم مطابق شکل ۲۵، صفحات به هم جوش شده و اعضای لوله‌ای به آنها پیچ می‌شوند. این سیستم را می‌توان در شبکه‌های چند لایه، گنبدها و چلیک‌ها به کار برد.



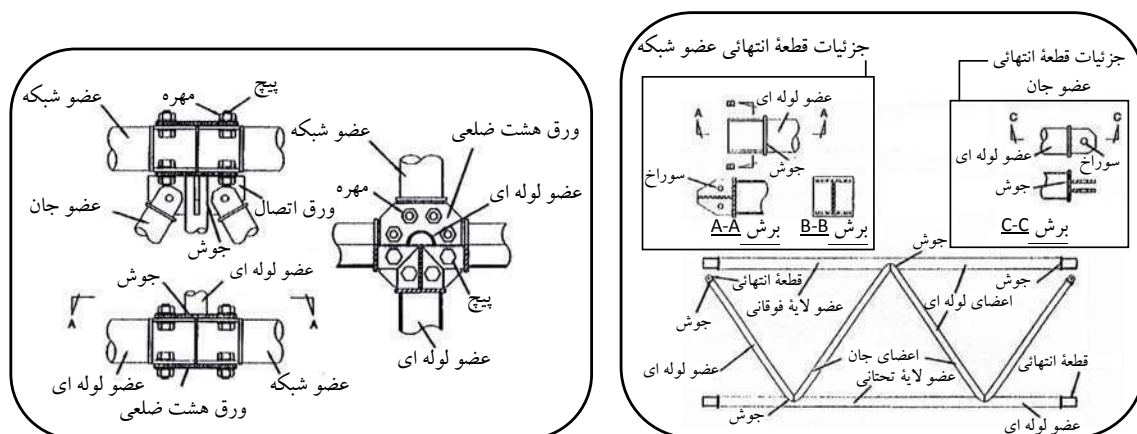
شکل (۲۵): اجزای سیستم OCTATUBE

در شکل ۲۶، انواع حالت‌های مونتاژ پیونده OCTATUBE، نشان داده شده‌اند. هر یک از حالت‌های نشان داده شده برای استفاده در شبکه‌های متفاوت به کار می‌روند.



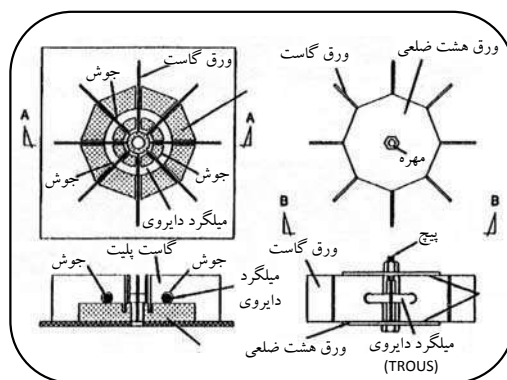
شکل (۲۶): انواع حالات مونتاژ سیستم OCTATUBE

سیستم پیونده Tridimatec، از دو صفحه فولادی تشکیل شده که اعضای لوله‌ای با دو نوع قطعه انتهایی به آنها پیچ می‌شوند. قطعه انتهایی اعضای افقی شامل یک ورق انتهایی و یک قطعه H شکل بوده و قطعه انتهایی اعضای جان که به پیونده می‌رسد، مطابق شکل ۲۷، شامل دو صفحه فلزی است که به ورق انتهایی لوله جوش می‌شوند. همچنین در قسمت‌هایی از شبکه، اعضای جان مستقیماً به اعضای افقی جوش کاری می‌شوند. شکل ۲۸، نمایی از این پیونده را نشان می‌دهد. این سیستم در انواع مختلف شبکه‌های دو لایه به کار گرفته شده است.



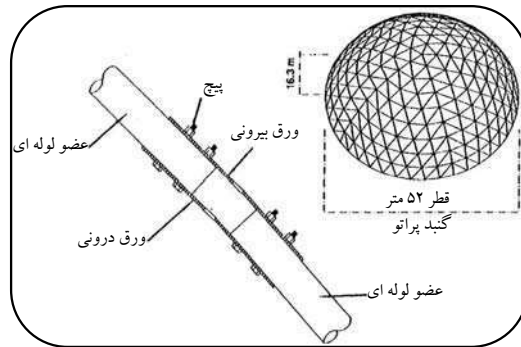
شکل (۲۷): سیستم Tridimatec در یک خرپا شکل (۲۸): جزئیات سیستم Tridimatec در شبکه مسطح

مطابق شکل ۲۹، سیستم پیونده صفحه‌ای Torus Gesto، از دو صفحه هشت ضلعی و هشت ورق فولادی مستطیلی، میلگرد، پیچ و مهره تشکیل شده است. ابتدا ورق‌های فولادی به صفحه تحتانی جوش شده و میلگردی دایروی از مابین سوراخ‌های آنها عبور داده می‌شود که به آنها جوش می‌گردد. بعد از جوش کاری، صفحه فوقانی به قطعات مزبور پیچ می‌شود. در این سیستم، اعضای سازه‌ای می‌توانند با جوش کاری یا پیچ به پیونده متصل گردند.



شکل (۲۹): جزئیات سیستم Torus Gesto

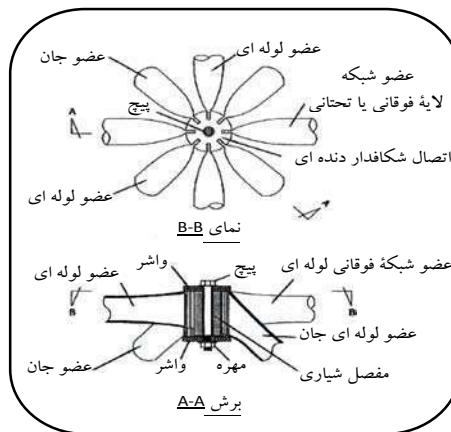
سیستم پیونده Prato که توسط یک مهندس ایتالیایی طراحی شده است، مطابق شکل ۳۰ می‌باشد. این سیستم از دو صفحه گرد تشکیل شده که بعد از سوراخ کاری، انحنا کوچکی نیز به آنها داده می‌شود تا امکان اتصال اعضای لوله‌ای به یکدیگر فراهم گردد.



شکل (۳۰): جزئیات سیستم PARTO

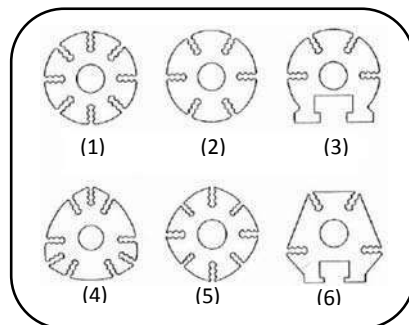
۱-۴- سیستم‌های پیونده شکافی (Slot Joint System)

این سیستم‌ها، شامل پیونده استوانه‌ای شکاف‌دار با شکاف‌های دنده‌ای شکل، اعضا با انتهای له‌شده و فرم داده‌شده، پیچ، مهره و واشر می‌باشند. شکل ۳۱، نمونه‌ای از این پیونده را نشان می‌دهد.



شکل (۳۱): سیستم Triodetic

برای اتصال، انتهای اعضا را مطابق دنده‌های شکاف‌ها له کرده، فرم‌داده و داخل شکاف‌های ایجادشده در پیونده فرو برده و به وسیله دو واشر نگهدارنده و بستن یک پیچ و مهره، نصب کامل می‌گردد. امروزه یکی از مشهورترین سیستم‌های پیونده شکافی سیستم Triodetic است که به وسیله یک شرکت کانادایی ارایه شده است. شکل ۳۲، انواع این پیونده را نشان می‌دهد.



شکل (۳۲): انواع پیونده‌های سیستم Triodetic

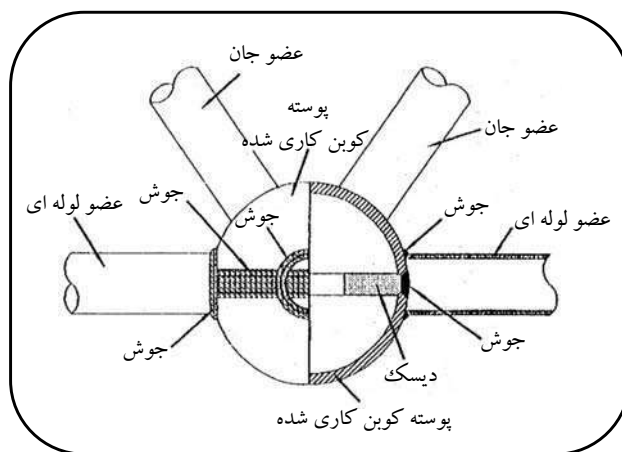
کاردهای این شش نوع پیونده، به ترتیب عبارت‌اند از:

- (۱) شبکه‌های دو لایه دو طرفه
- (۲) گنبد‌های تک لایه لاملا
- (۳) خرپاها و پل‌های عابر پیاده
- (۴) شبکه‌های دو لایه سه سویه
- (۵) شبکه‌های دو لایه دو سویه
- (۶) خرپاهای پل‌ها

جنس مصالح سیستم سازه فضاکار مزبور از آلومینیوم یا فولاد و یا ترکیبی از این دو در نظر گرفته شده است. گاه پیوندها از آلومینیوم و اعضا از فولاد ساخته می‌شوند.

۱-۵- سیستم‌های پیونده پوسته‌ای

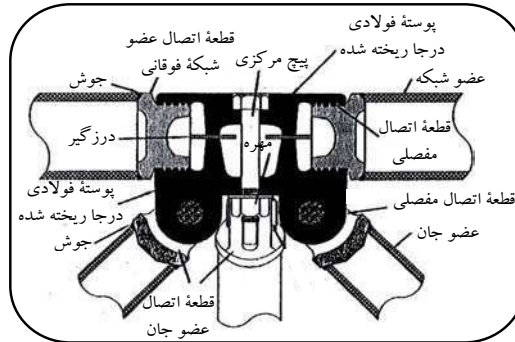
۱-۵-۱- سیستم‌های پیونده پوسته‌ای OKTAPLATTE: این سیستم توسط یک شرکت آلمانی ارایه شده است و شامل دو پوسته نیم کره‌ای کوبن کاری شده، یک صفحه گرد و اعضای لوله‌ای می‌باشد. قسمت‌های یادشده به یکدیگر جوش می‌گردند. شکل ۳۳، اجزای این سیستم را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه اعضای لوله‌ای با جوش به پیونده متصل می‌گردند، زوایای متنوعی بین اعضای اتصال یافته، می‌توان ایجاد نمود. از این رو با این سیستم می‌توان انواع فرم‌های شبکه‌های فضایی را به وجود آورد.



شکل (۳۳): سیستم OKTAPLATTE

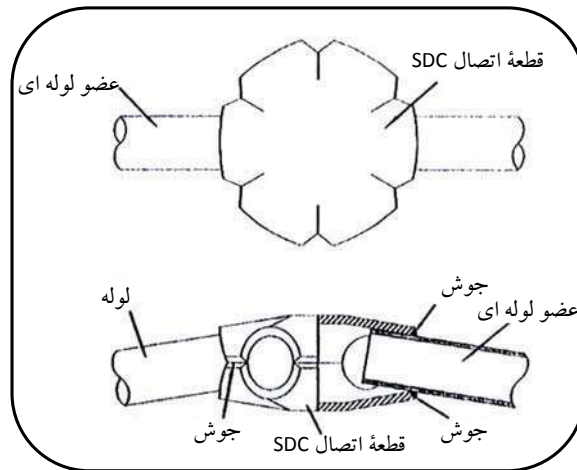
۱-۵-۲- سیستم‌های پیونده پوسته‌ای NODUS: سیستم پیونده NODUS، که توسط یک شرکت انگلیسی ارایه شده، عموماً در شبکه‌های دولایه کاربرد دارد. شکل ۳۴، نمونه‌ای از این سیستم را نشان می‌دهد. اجزای پیونده شامل دو پوسته فلزی، پیچ مرکزی، مهره، واشر و پین می‌باشد. برای اتصال پیونده به اعضای لوله‌ای قطعاتی به انتهای آنها جوش می‌شوند. در اعضای

شبکه‌های زیرین و رویین قطعه انتهایی به صورت شیاردار و در اعضای جان، به صورتی است که به توان یک پین را از آن عبور داده و به پیونده متصل کرد.



() : NODUS

۱-۵-۳- سیستم‌های پیونده پوسته‌ای SDC: این سیستم نیز از جمله سیستم‌های پوسته‌ای به شمار می‌رود و از دو پوسته فلزی و اعضای لوله‌ای تشکیل یافته‌است که این دو پوسته، در کارخانه به هم جوش می‌شوند. مطابق شکل ۳۵، پیونده دارای شش سوراخ است که اعضای لوله‌ای داخل آن قرار گرفته و به آن جوش می‌شوند.



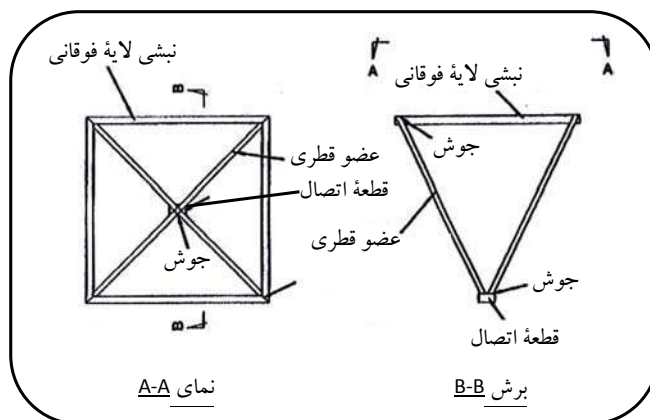
() : SDC

۲- سیستم‌های واحدی

این سیستم‌ها از واحدهایی تشکیل یافته‌اند که با اتصال آنها به یکدیگر مجموعه سازه فضاکار حاصل می‌گردد. فرم‌های متنوع این واحدها، انواع گوناگون سیستم‌های واحدی رایج را به وجود آورده‌اند.

۲-۱- سیستم واحدی SPACE DECK

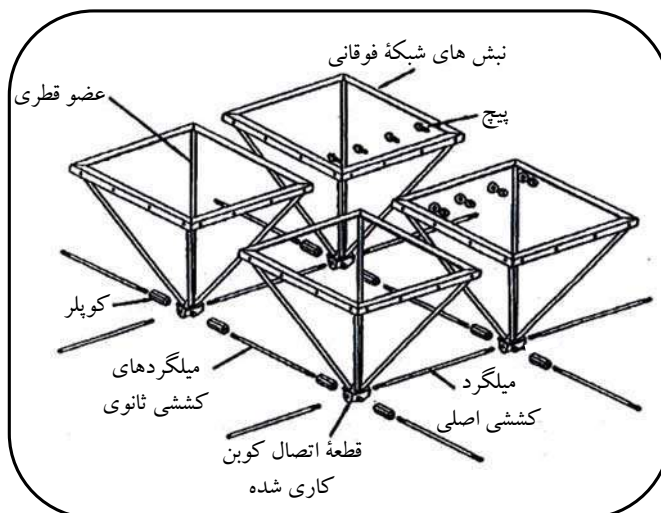
این سیستم توسط یک شرکت انگلیسی در سال ۱۹۵۴ ارایه شده است. جزء تشکیل‌دهنده سیستم، هرم مربع القاعده‌ای است که به صورت معکوس قرار می‌گیرد. شکل ۳۶، نمایی شماتیک از این واحد را نشان می‌دهد.



SPACE DECK

: ()

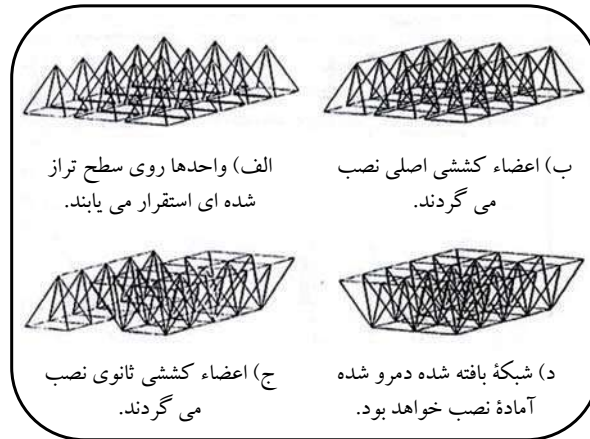
اجزای تشکیل‌دهنده هر واحد، شامل چهار نشی فوقانی، چهار عضو قطری میله‌ای و یک قطعه پیونده تحتانی است که به یکدیگر جوش می‌شوند. این سیستم با توجه به عملکرد و نحوه مونتاژ در دوره‌ای از زمان از پرکاربردترین سیستم‌های سازه‌های فضاکار به شمار می‌رفت. برای ساخت مجموعه سازه فضاکار، واحدهای هرمی آماده را به یکدیگر متصل می‌کنند. مطابق شکل ۳۷، اتصال در قسمت فوقانی بوسیله پیچ و مهره و در قسمت تحتانی با میلگردهای رزوه شده انجام می‌گیرد.



شکل (۳۷): اجزاء تشکیل‌دهنده سیستم SPACE DECK

مراحل نصب این نوع شبکه‌ها در شکل ۳۸ نشان داده شده است. ابتدا واحد هرمی به محل نصب حمل گردیده و به صورت منظم و به حالت وارونه روی زمین قرارداده می‌شوند. بعد، قسمت‌های تحتانی و فوقانی هر ردیف از سیستم به یکدیگر متصل

می‌گردند. با تشکیل سیستم به صورت ردیفی، هر ردیف را روی زمین برگردانده و این ردیف‌ها را دو به دو به هم وصل می‌کنند تا سیستم کامل گردد.

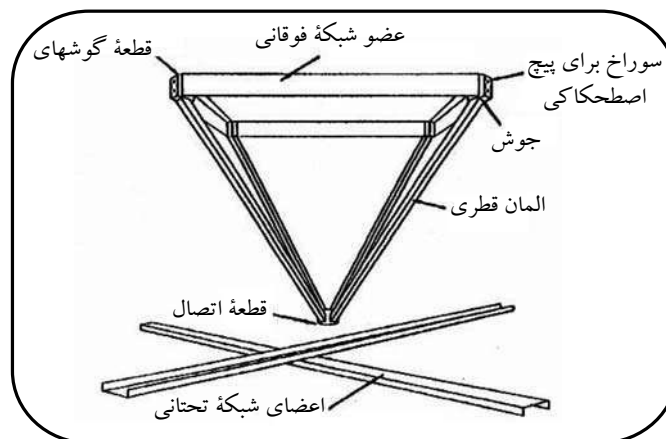


SPACE DECK : ()

همچنین لازم به توضیح است که این سیستم با توجه به فرم هندسی خاص واحدها فقط در شبکه‌های دولایه از نوع مربع روی مربع کاربرد دارد.

۲-۲- سیستم واحدی UNIBAT

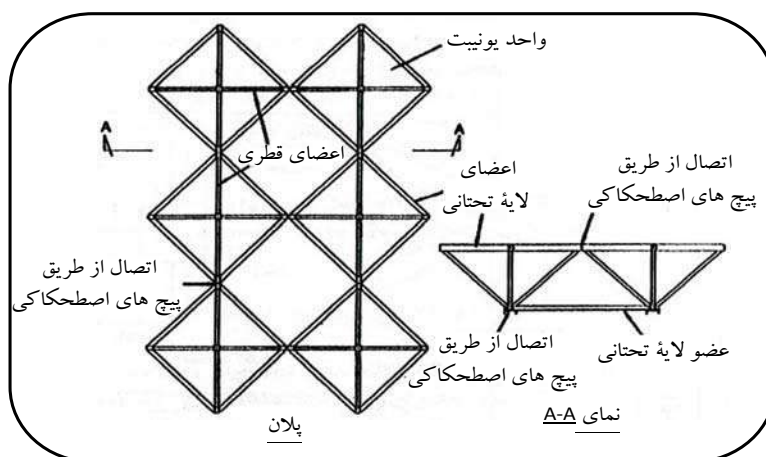
مطابق شکل ۳۹، این سیستم از واحدهای هرمی، اعضای تحتانی و پیچ‌های اتصال تشکیل شده است. هر واحد شامل چهار عضو فوقانی، چهار عضو جان و چهار قطعه مرکزی و یک قطعه انتهایی است که این قطعات مرکزی و انتهایی به صورت کوبن کاری شده ساخته می‌شوند.



UNIBAT : ()

برای ساخت این واحدها از مقاطع مختلفی از جمله لوله‌های توخالی و توپر، نبشی، ناودانی استفاده می‌گردد. تولید آنها از نبشی و مقاطع توخالی مستطیلی به دلایل اقتصادی متداول‌تر است؛ به صورتی که نبشی برای لایه فوقانی و مقطع قوطی شکل مستطیلی برای اعضای قطری به کار برده می‌شود.

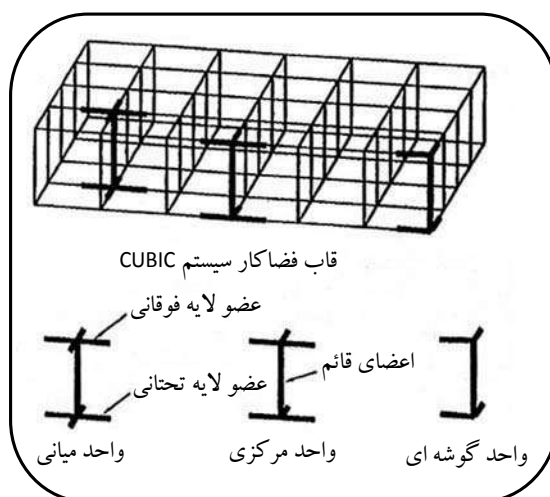
مطابق شکل ۴۰، با سیستم UNIBAT، یک شبکه قطری روی مربع ایجاد می‌شود. نحوه نصب این شبکه‌ها به این صورت است که اعضای زیرین روی زمین قرارداده شده و سپس واحدهای هرمی روی آنها قرار داده می‌شوند. این واحدها و اعضای تحتانی با پیچ‌های اصطکاکی مقاومت زیاد، به هم اتصال می‌یابند. پس از کامل شدن سیستم، به وسیله بالابرها شبکه در محل نهایی خود قرار داده می‌شود.



شکل (۴۰): سیستم UNIBAT

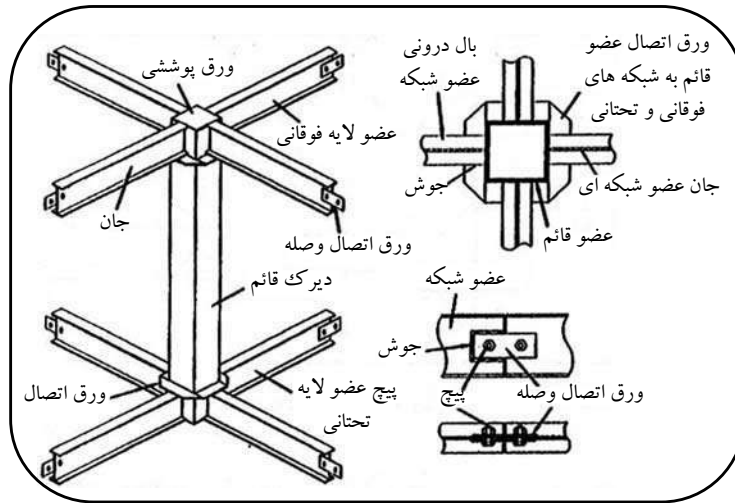
۳-۲- سیستم واحدی CUBIC

شکل ۴۱، سه واحد داخلی، کناری و گوشه‌ای این سیستم را نشان می‌دهد.



() : CUBIC

مطابق شکل ۴۲، هر واحد شامل یک عضو قائم با مقطع قوطی شکل راست گوشه و اعضای افقی با مقطع I شکل می‌باشد. به هر دو انتهای عضو قائم یک صفحه جوش می‌شود و بال‌های اعضای افقی به آن صفحه از طریق جوش متصل می‌گردند. همچنین یک صفحه به قسمت انتهایی هر عضو افقی جوش می‌شود تا واحدهای هرمی به یکدیگر با پیچ اتصال یابند.

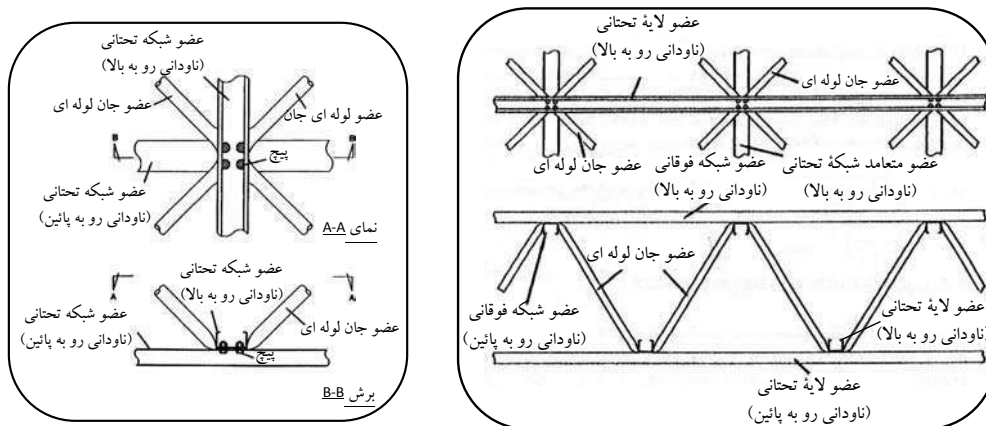


شکل (۴۲): جزئیات هر واحد سیستم CUBIC

۳- سیستم ترکیبی (Composive System)

این سیستم برخلاف مانند سیستم‌های واحدی و پیوندهای دارای یک واحد مشخص و یا دارای قطعات پیونده نمی‌باشد. از معروفترین سیستم‌های ترکیبی، سیستم HARLEY است که به سه صورت متفاوت طراحی شده است. در اینجا به سری ۸۰ سیستم HARLEY پرداخته می‌شود.

اشکال ۴۳ و ۴۴، نماهایی از این سیستم را نشان می‌دهند. اجزای سیستم شامل اعضای افقی، اعضای جان، پیچ، مهره و واشر می‌باشند.

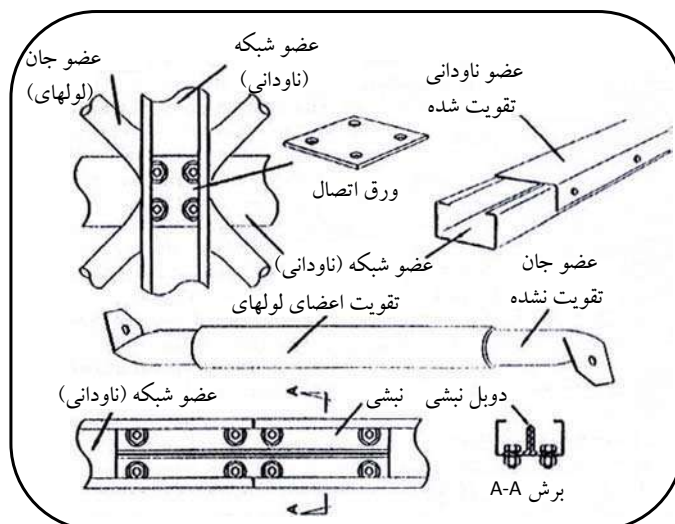


HARLEY : ()

HARLEY : ()

چنانکه ملاحظه می‌گردد، اعضای افقی در این سیستم به صورت پیوسته می‌باشند. این اعضا از مقطع ناودانی ۷۵×۱۰۰ و ۵۰×۱۰۰ میلی‌متر ساخته می‌شوند و چهار سوراخ در محل هر گره برای اتصال دیگر اعضا در نظر گرفته می‌شود. اعضای جان، از لوله‌هایی با قطر $۴۲/۴mm$ و ضخامت $۲mm$ یا قطر $۴۸/۳mm$ و ضخامت $۲/۳mm$ می‌باشند که هر دو انتهای آن باید به صورت له‌شده درآید. البته ابعادی که در فوق ارایه گردید، برای سیستم HARLEY سری ۸۰ بوده که برای کاربرد تا دهانه خاص و تحت بار

خاص طراحی گردیده است. در واقع سری‌های دیگر برای کاربردهای متنوع به کار گرفته می‌شوند. قابلیت برجسته سیستم HARLEY، امکان تقویت آن مطابق شکل ۴۵ می‌باشد.



شکل (۴۵) : صفحات تقویت کننده در سیستم HARLEY

در گره‌هایی که مقدار بارهای متمرکز قابل ملاحظه باشد، می‌توان از یک صفحه تقویتی استفاده نمود. همچنین در اعضای افقی، از مقطع ناودانی با لبه برگشته برای کاهش احتمال بروز کمانش موضعی و از ناودانی تقویتی برای کاهش احتمال بروز کمانش کلی استفاده می‌گردد. برای تقویت اعضای جان، می‌توان لوله‌های توخالی با قطر اندکی بزرگ‌تر را به آنها جوش کاری نمود. در سیستم HARLEY نیز مانند سایر سیستم‌ها، برای محافظت در مقابل خوردگی، اعضا و اتصالات را گالوانیزه می‌کنند. لازم به ذکر است که برای ساخت سیستم HARLEY، از مصالح آلومینیومی نیز علاوه بر فولاد استفاده می‌شود.

پیوست ۳

تعیین شاخص انعطاف پذیری

اتصالات سازه‌های فضاکار شبکه‌ای

مقدمه

یکی از ملاحظات اساسی در تحلیل سازه‌های فضاکار، تصمیم‌گیری در مورد نحوه مدل‌سازی اتصالات می‌باشد. نحوه مدل‌سازی اتصالات بستگی به نوع و مصالح اتصال و همچنین نوع تاشه و ابعاد سازه فضاکار دارد. اتصالات بر اساس صلیبیت آنها به سه گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- ۱- اتصال مفصلی
- ۲- اتصال صلب
- ۳- اتصال نیمه‌صلب

تفسیر- این پیوست شامل آثار ناشی از انعطاف‌پذیری و تغییرشکل متزاید پیوندها (به‌ویژه پیوندهای نوع نیامی) و ادوات اتصال نمی‌گردد. تأکید اصلی در این پیوست بر میزان قابلیت اتصال لنگر از طریق اتصال و میزان دوران نسبی عضو و پیونده می‌باشد که بر تأثیر رفتار کلی و موضعی سازه، در ضریب طول مؤثر عضو سازه فضاکار و در نتیجه در نسبت لانگری عضو نیز مؤثر خواهد بود.

اگر چه گروه‌های ۱ و ۲ در تحلیل و طراحی سازه‌های فضاکار به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند ولی رفتار واقعی اتصالات اغلب نیمه‌صلب می‌باشد. طبقه‌بندی اتصالات در حالت کلی بستگی به سازه فضاکار و رفتار آن دارد. در واقع طبقه‌بندی اتصالات تنها بر اساس رفتار اتصال از کارایی مطلوب برخوردار نخواهند بود. به طور مثال، ممکن است یک اتصال خاص تحت تأثیر بار بهره‌برداری مفصلی یا صلب در نظر گرفته شود؛ در صورتی که برای بار نهایی به صورت نیمه‌صلب عمل نماید. همچنین ممکن است اتصالی برای یک سازه فضاکار شبکه‌ای دولایه به صورت مفصلی فرض شود، در حالی که برای یک گنبد با نسبت ارتفاع به دهانه اندک، آن را به صورت نیمه‌صلب در نظر گرفت.

روش‌های چندی برای طبقه‌بندی اتصالات پیشنهاد شده است که از میان آنها دو روش برای سیستم‌های اتصالات در سازه‌های متشکل از قاب‌های ساختمانی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

۱- سیستم طبقه‌بندی Eurocode 3

۲- سیستم طبقه‌بندی Bjorhove et.al.

این دو سیستم طبقه‌بندی برای اتصالات تیر به ستون پیشنهاد شده‌اند. سیستم طبقه‌بندی بورهود برای حالتی مناسب است که اطلاعاتی از جزییات اعضا در دسترس نباشد. از طرف دیگر، طبقه‌بندی در Eurocode3 بر اساس ظرفیت باربری قاب‌ها پیشنهاد گردیده است. همچنین سیستم طبقه‌بندی بورهود ظرفیت دورانی مورد نیاز برای اتصال را تعیین می‌کند؛ در صورتی که در Eurocode3 این موضوع ملحوظ نمی‌شود. در این پیوست، با توجه به نوع اتصالات در سازه‌های فضاکار، به ویژه برای سیستم‌های پیونده‌ای، روش جدیدی ارایه می‌شود که کارایی آن با مطالعات پارامتریک به اثبات رسیده است.

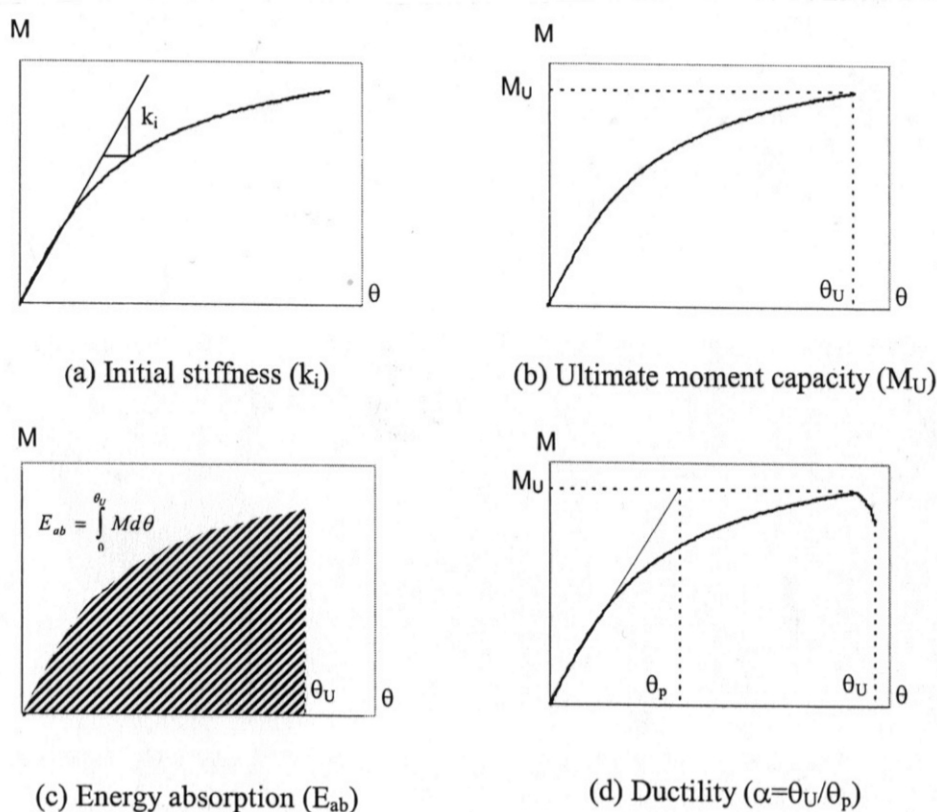
روش پیشنهادی برای طبقه‌بندی سیستم‌های پیونده‌ای در سازه‌های فضاکار و تعیین شاخص اتصال

گام‌های اساسی در روش‌های طبقه‌بندی اتصالات شامل موارد زیر است :

- ۱- تعیین مرز بین نواحی مفصلی، صلب و نیمه‌صلب
- ۲- تخمین دورانی اتصال در سازه‌های متفاوت

در حالت کلی مرز بین ناحیه‌ها بستگی به ویژگی‌های سازه مورد نظر دارد. عوامل زیر تأثیر بسزایی در تعیین مرز بین نواحی خواهند داشت:

- مشخصات اعضا
 - فرم و مشخصات سازه
 - روش تحلیل سازه (دینامیکی یا استاتیکی)
 - یک روش ساده برای طبقه‌بندی اتصالات، تعیین شاخصی برای اتصال بر اساس منحنی لنگر - دوران می‌باشد. به این منظور، چهار مشخصه مهم زیر در نظر گرفته می‌شود.
 - سختی اولیه اتصال
 - ظرفیت نهایی لنگر خمشی اتصال
 - مقدار جذب انرژی اتصال
 - شکل‌پذیری
- این مشخصه‌ها در شکل (پ-۳-۱) نشان داده شده‌اند:



شکل (پ-۳-۱)

بدون نرمالیزه کردن مقادیر مشخصه استفاده از آنها در حالت کلی مقدور نخواهد بود. طبقه‌بندی اتصال به طور جدی متأثر از مشخصات عضو متصل به آن و مقدار تغییر شکل صورت گرفته در آن است. بنابراین طبقه‌بندی یک اتصال صرفاً بر اساس رفتار خود

اتصال مفید نخواهد بود. به عبارت دیگر، مشخصه‌های اتصال باید با مقادیر مرجعی مقایسه شود. این مقادیر مرجع می‌توانند با توجه به مشخصات عضو متصل به آن و یا بر اساس آگاهی قبلی در نظر گرفته شوند. در این پیوست، از ترکیب این دیدگاه‌ها استفاده شده است.

به منظور دخیل کردن مشخصات عضو متصل به اتصال، ابتدا مشخصات اتصال بر اساس مشخصات عضو نرمالیزه می‌شود. از آنجا که مقدار لنگر خمشی در یک اتصال بستگی به دوران اتصال دارد، به جای ظرفیت نهایی لنگر خمشی اتصال، از لنگر انتقالی استفاده می‌شود. بر این اساس سه مشخصه مهم برای طبقه‌بندی به صورت زیر تعریف می‌شود.

- سختی اولیه (K_i)
- لنگر انتقالی (M_t)
- مقدار انرژی جذب شده (E_{ab})

تفسیر: میزان شکل‌پذیری، در عوامل مذکور در فوق مستتر است.

در این صورت یک اتصال می‌تواند به صورت یک بردار نظیر V_c مشخص شود.

$$V_c = [K_{in}, M_{in}, E_{abn}]^T \quad (\text{پ-۳-۱})$$

که در آن K_{in} ، M_{in} و E_{abn} به ترتیب مربوط به مقادیر نرمالیزه شده K_i ، M_t و E_{ab} می‌باشند. مقادیر نرمالیزه از روابط زیر استخراج می‌شوند:

$$K_{in} = \frac{2}{\pi} \times \text{Arc tan} \left(K_i \frac{\theta_t}{M_u} \right) \quad (\text{پ-۳-۲})$$

$$M_{in} = \frac{M_t}{M_p} \quad (\text{پ-۳-۳})$$

$$E_{abn} = \frac{E_{ab}}{(M_p \cdot \theta_t)} \quad (\text{پ-۳-۴})$$

که در آن

M_u : ظرفیت نهایی لنگر خمشی اتصال

M_p : ظرفیت لنگر پلاستیک عضو متصل به اتصال

θ_t : دوران ممکن اتصال می‌باشند.

در روابط فوق، انتخاب دوران ممکن اتصال مهم نبوده و بستگی به فرم سازه، شرایط سازه و بارگذاری دارد. برای محاسبه θ_t دو معادله که بر اساس مشخصات عضو متصل به اتصال تعریف شده‌اند، مورد استفاده قرار داده می‌شوند. این معادلات مبتنی بر پیشنهادات Eurocode3 و بورهود می‌باشند. در عین حال، نتایج حاصل از تعداد قابل ملاحظه‌ای از مطالعات تحلیلی انجام یافته در مورد سازه‌های فضاکار قابلیت استفاده از معادلات مذکور را برای مقاصد مورد نظر تأیید می‌نمایند. این معادلات عبارت‌اند از:

$$\theta_t = \frac{L_b \cdot M_p}{E \cdot I_b} \quad (\text{پ-۳-۵})$$

$$\theta_t = \frac{5d.M_p}{E.I_b} \quad (\text{پ-۳-۶})$$

که در آن L_b طول عضو، I_b ممان اینرسی عضو و d ارتفاع عضو می‌باشد. همچنین E مدول الاستیسیته عضو و M_p ظرفیت لنگر پلاستیک عضو متصل به اتصال می‌باشد. مقادیر تقریبی میانگین θ_t برای مقاطع آهن بر اساس BS 4 و مقاطع لوله‌ای شکل دایروی بر اساس BS 4848 در جدول پ-۳-۱ ارایه شده است. برای محاسبه θ_t ، L_b برابر $24d$ انتخاب شده است.

جدول پ-۳-۱

| θ_t (rad) | | نوع مقطع تیر |
|------------------|------------|---------------------------------------|
| معادله (II) | معادله (I) | |
| 0.0120 | 0.058 | تیر آهن مطابق با BS 4 |
| 0.0147 | 0.070 | مقاطع لوله‌ای دایروی مطابق با BS 4848 |

بر اساس مقادیر محاسبه شده در جدول فوق، مقدار θ_t را می‌توان بین 0.015 و 0.050 انتخاب نمود. بردار V_c برای اتصالات مفصلی و صلب به صورت زیر می‌باشد

$$V_p = [0.0 \quad 0.0 \quad 0.0]^T \quad \text{برای اتصال مفصلی:}$$

$$V_R = [1.0 \quad 1.0 \quad 1.0]^T \quad \text{برای اتصال صلب:}$$

حال با استفاده از ویژگی‌های متفاوت بردار V_c در مقایسه با بردار V_p ، نداشت بردار V_c به یک کمیت عددی مقدور می‌باشد. این کمیت عددی به عنوان شاخص اتصال C_I نامیده شده و به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$C_I = (V_c - V_p)^T (V_c - V_p) / \sqrt{3} \quad (\text{پ-۳-۷})$$

با دانستن شاخص اتصال می‌توان یک اتصال را در طبقه ویژه‌ای رده‌بندی کرد که به طور تحلیلی:

۱- اگر $C_I=0.0$ باشد، اتصال از نوع مفصلی ایده‌آل است.

۲- اگر $C_I=1.0$ باشد، اتصال از نوع صلب ایده‌آل است.

۳- در غیر این صورت اتصال نیمه‌صلب می‌باشد.

مطالعات پارامتریک روی سازه‌های شبکه‌ای فضاکار نشان می‌دهد که:

۱- برای $C_I < 0.2$ ، اتصال را می‌توان مفصلی فرض نمود.

۲- برای $C_I > 0.8$ ، اتصال را می‌توان صلب فرض کرد.

۳- برای $0.2 < C_I < 0.8$ ، اتصال را می‌توان نیمه‌صلب فرض نمود.

در حالت سوم از آنجا که تحلیل با پیچیدگی مواجه خواهد شد - برای برخی از سازه‌ها که شرایط زیر را ارضا نمایند، اتصال را می‌توان مفصلی در نظر گرفت:

$$W_p/W_R \Rightarrow 1 \quad \text{و} \quad 0.2 < C_I < 0.8 \quad (\text{پ-۳-۷})$$

W_p : فرکانس اصلی سازه در حالت اتصال مفصلی،

W_R : فرکانس اصلی سازه در حالت اتصال صلب.

پیوست ۴

گونه‌های ناپایداری در سازه‌های فضاکار شبکه‌ای

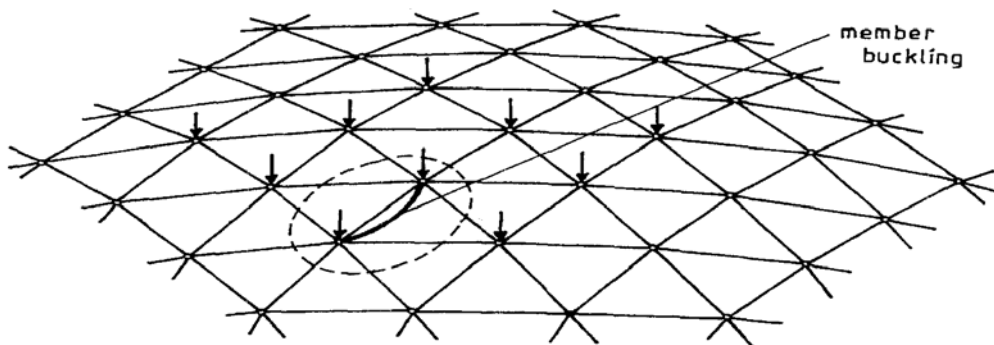
مقدمه

معمولاً چندین مود ناپایداری در سازه‌های فضاکار رخ می‌دهند که عبارت‌اند از:

۱- ناپایداری عضوی

همانطور که در شکل پ-۴-۱ نشان داده شده است، ناپایداری عضوی هنگامی رخ می‌دهد که یک عضو منفرد کمانش کرده و سایر اعضا تحت تأثیر قرار نگیرند. علی‌رغم مطالعات ارزشمند، محاسبه طول مؤثر واقع‌گرایانه اعضای فشاری در سازه‌های فضاکار هنوز یک مساله بحث برانگیز است. این مود ناپایداری یکی از ساده‌ترین شکل‌های ناپایداری است که می‌تواند به وسیله عوامل زیر ایجاد گردد.

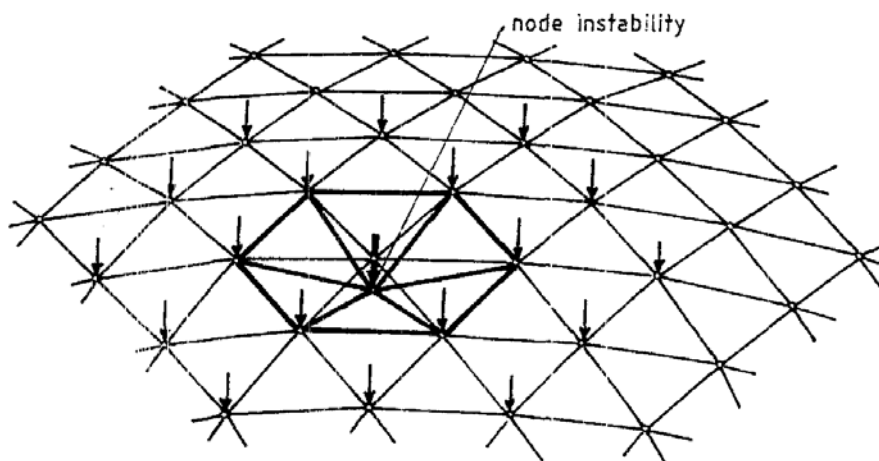
تغییر شکل خمشی: انتظار می‌رود این نوع تغییر شکل به‌طور معمول در اعضای دارای سطح مقطع متقارن دو سویه (دارای تقارن دو محوری) نظیر مقاطع I شکل (تیر آهن و بال پهن) رخ دهد.
تغییر شکل پیچشی - خمشی: انتظار می‌رود این نوع تغییر شکل به‌طور غالب در اعضای دارای سطح مقطع متقارن یک سویه (دارای تقارن تک محوری) نظیر مقاطع T شکل رخ دهد.



شکل پ-۴-۱- ناپایداری عضوی

۲- ناپایداری گرهی

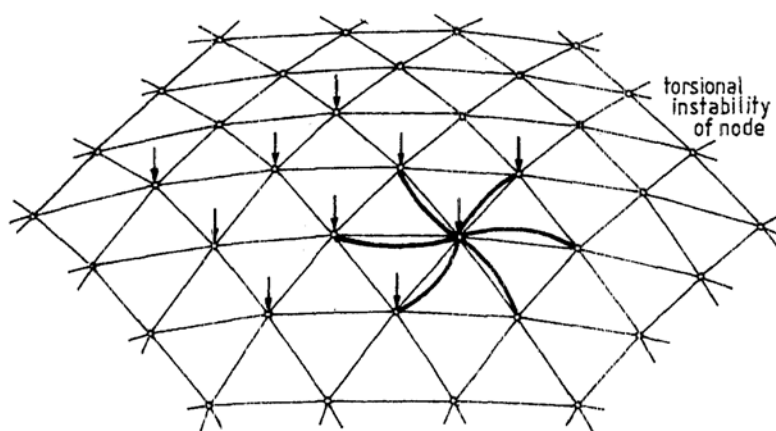
ناپایداری گرهی، مطابق شکل پ-۴-۲، هنگامی رخ می‌دهد که تمامی اعضای متصل به یک گره، تحت اثر آنچنان کرنش‌های محوری قرار گیرند که توانایی مقاومت در برابر بار خارجی گرهی را از دست دهند. در این نوع ناپایداری به دلیل اینکه اعضا دارای صلبیت خمشی درون صفحه‌ای قابل ملاحظه‌ای می‌باشند، تغییر مکان گرهی در جهت خارج از صفحه رخ می‌دهد.



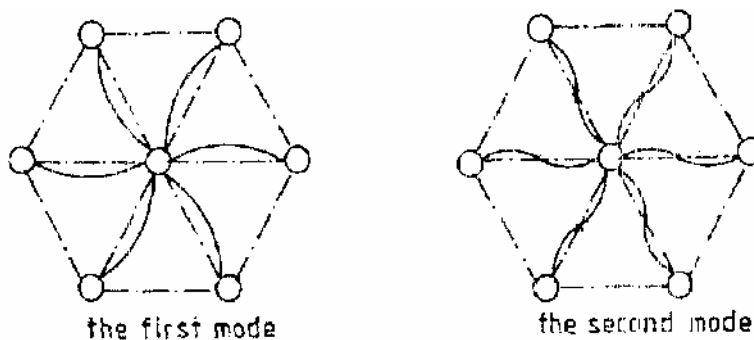
شکل پ-۴-۲- ناپایداری گرهی

۳- ناپایداری پیچشی گرهی

مطابق شکل پ-۴-۳، ناپایداری پیچشی گرهی هنگامی رخ می‌دهد که اعضا دارای صلیبیت خمشی درون صفحه‌ای ضعیف‌تری از پیوندها باشند. معمولاً در سازه‌های فضاکار دو مود کمانش پیچشی که در شکل پ-۴-۴ نشان داده شده‌اند، امکان بروز خواهند داشت.



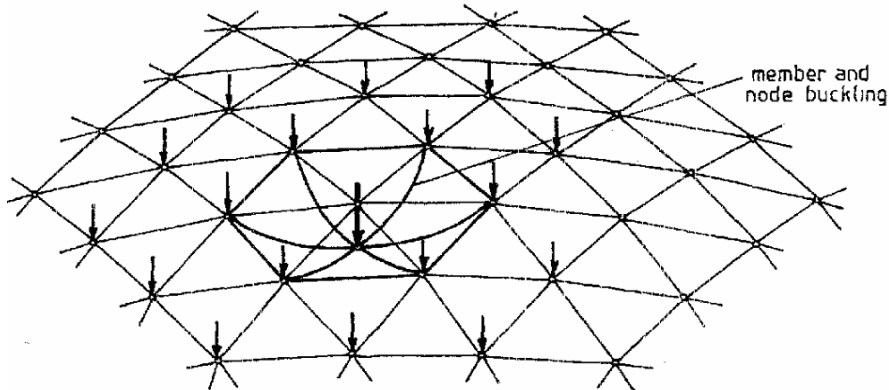
شکل پ-۴-۳- ناپایداری پیچشی گرهی



شکل پ-۴-۴- مودهای ناپایداری پیچشی گرهی

۴- حالات توأم ناپایداری

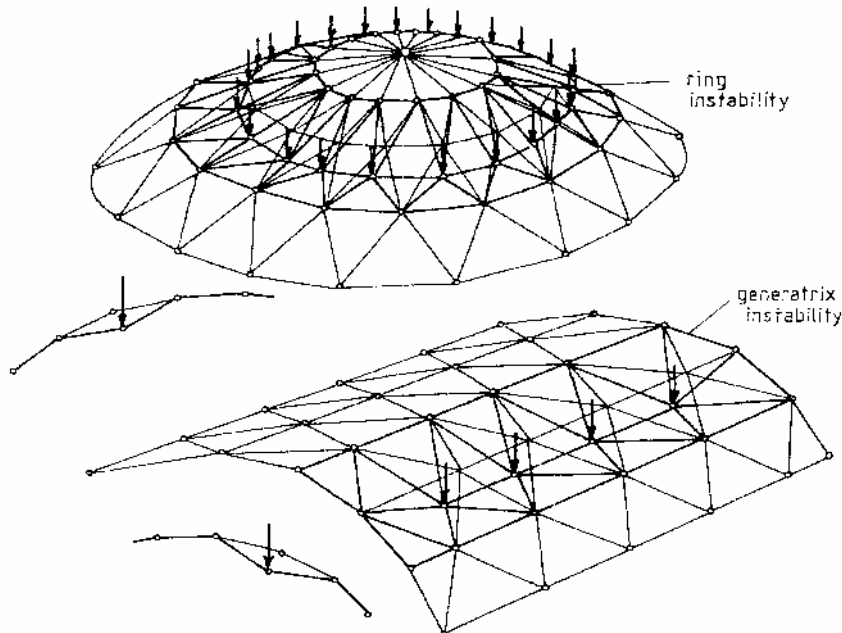
حالات توأم ناپایداری هنگامی رخ می‌دهند که مقادیر بارهای بحرانی مربوط به دو موذ مختلف ناپایداری (معمولاً ناپایداری عضوی و گرهی) به هم نزدیک باشند و پدیده کمانش هر دو موذ را شامل شود. در شکل پ-۴-۵، نمونه‌ای از حالات محتمل ناپایداری توأم شامل دو موذ کمانش عضوی و گرهی نشان داده شده است.



شکل پ-۴-۵- ناپایداری کوبل

۵- ناپایداری در امتداد مسیر

همانطور که در شکل پ-۴-۶ نشان داده شده است، ناپایداری در امتداد مسیر هنگامی رخ می‌دهد که فقدان پایداری در مجموعه گره‌های واقع بر حداقل یک حلقه (یا مدار) سازه فضاکار گنبدی یا تمامی گره‌های واقع بر حداقل یک مسیر سازه فضاکار چلیکی یا مجموعه گره‌های حداقل یک ردیف شبکه دو یا چند لایه، به همراه تمامی اعضای متصل به آن گره‌ها، حادث گردد.

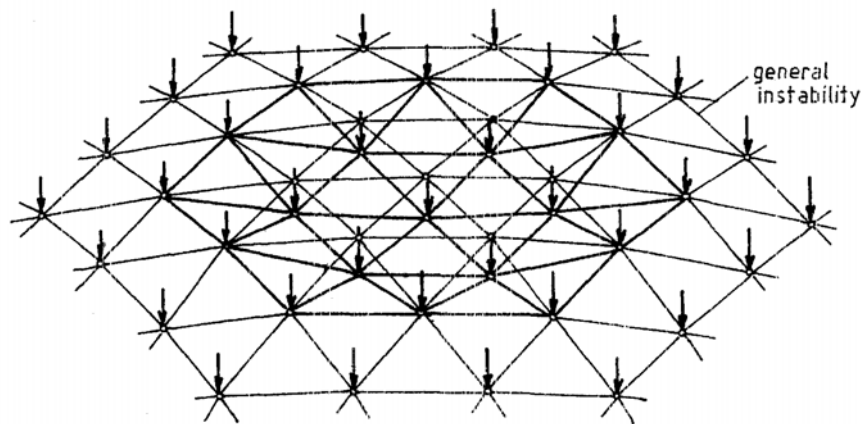


شکل پ-۴-۶- ناپایداری در امتداد محور

مطالعات انجام گرفته در مورد این حالات ناپایداری، نشان می‌دهند که بروز این نوع ناپایداری بسیار خطرناک می‌باشد، چراکه اثرات مساعد میله‌های افقی که در پایداری از نوع کماتش فزوجی گرهی دخالت می‌نمایند، در حالت ناپایداری در امتداد مسیر ظاهر نمی‌شوند.

۶- ناپایداری کلی

مطابق شکل پ-۴-۷، ناپایداری کلی به حالتی اطلاق می‌گردد که رخداد پدیده کماتش تمامی گره‌ها و اعضای یک سطح بالنسبه وسیع از سازه را شامل گردد. این مود ناپایداری معمولاً هنگامی بروز می‌نماید که طول موج کماتش به میزان قابل توجهی از طول عضو بزرگتر باشد.



شکل پ-۴-۷ ناپایداری کلی

پیوست ۵

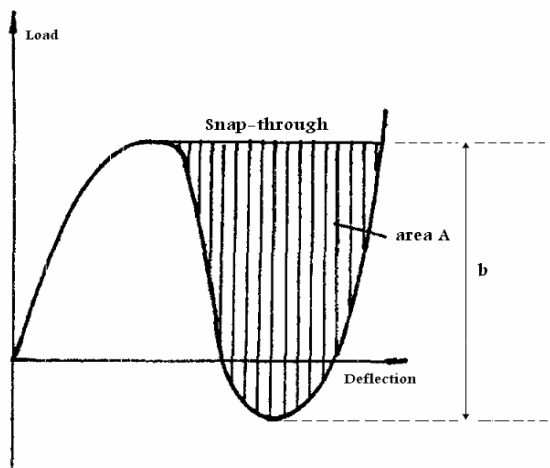
رده‌های ناپایداری در سازه‌های فضاکار شبکه‌ای

رده‌های ناپایداری در سازه‌های فضاکار شبکه‌ای

۱- فروجهش گرهی

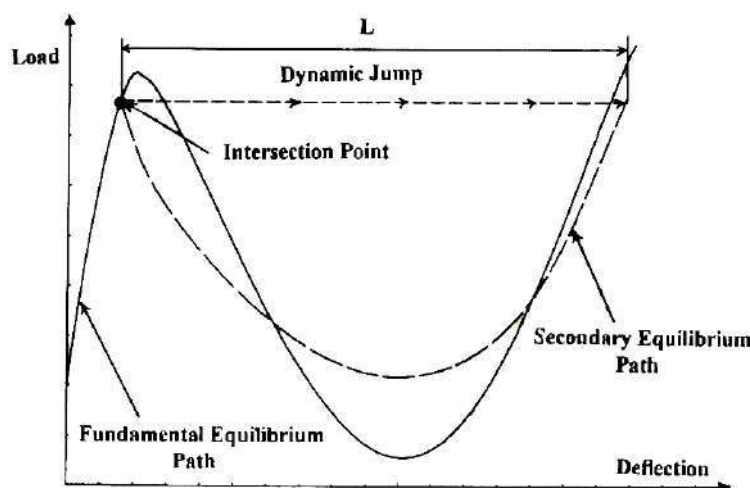
کمانش موضعی گرهی یکی از خطرناک‌ترین شکل‌های ناپایداری در سازه‌های فضاکار می‌باشد. این پدیده ناپایداری معمولاً با انحراف قابل توجهی در هندسه یک سازه ایده‌آل ایجاد می‌گردد. ناپایداری موضعی گرهی دارای اثر دینامیکی است که بوسیله فروجهش گرهی ایجاد می‌شود. فروجهش گرهی می‌تواند باعث خرابی ناحیه وسیعی از سازه فضاکار گردد. این نوع پدیده ناپایداری بیشتر در گنبدها و سازه‌های چلیکی مهاربندی شده تک‌لایه (شبکه‌ای) رخ می‌دهد. همچنین بروز فروجهش گرهی در سازه‌های فضاکار دولایه در شرایط خاص منتفی نخواهد بود.

یک سازه با مشخصه نرم‌شوندگی غیرخطی که در آن سختی با افزایش بار کاهش می‌یابد، ممکن است پایداری خود را به طریقی که به ناپایداری نقطه حدی معروف است از دست دهد. در این نوع ناپایداری، نرم‌شوندگی که همراه با مود اولیه تغییرشکل است، می‌تواند با کاهش تدریجی سختی به حالت فقدان کامل سختی برسد. در این صورت گفته می‌شود که مسیر تعادل بار- تغییرمکان سازه به یک نقطه حدی رسیده است که در آن یک پرش دینامیکی به تاشه‌ای تغییرشکل یافته رخ می‌دهد. همان‌گونه که در شکل پ-۵-۱ نشان داده شده است، در نقطه حدی سختی سازه‌ای صفر بوده و به ازای یک افزایش بسیار کوچک در بار، هیچ‌گونه حالت تعادلی در همسایگی آن موجود نمی‌باشد. در این نقطه است که سازه در جستجوی حالت تعادل پایدار دیگری خواهد بود که ممکن است در همین تراز بار و عموماً در همان مسیر تعادل موجود باشد. حرکت به سمت چنین حالت تعادلی می‌تواند شامل بروز تغییرمکان‌های بزرگ ناگهانی توأم با اثرات دینامیکی ناشی از آن باشد. در این مرحله با توجه به آنکه عکس‌العمل الاستیک سازه مسیر تعادل را دنبال می‌نماید، برای پرکردن شکاف بین نیروهای خارجی و عکس‌العمل الاستیک در حین فروجهش، طبق اصل دالامبر نیروهای اینرسی ایجاد می‌گردند. با صرف‌نظر نمودن از نیروهای میرایی، b به صورت نشان‌داده شده در شکل پ-۵-۱ بیانگر نیروهای اینرسی ایجاد شده بوده و مساحت سطح A نمایشگر میزان انرژی جنبشی دریافت‌شده توسط سیستم در حین فروجهش گرهی می‌باشد. پس از فروجهش گرهی، این انرژی به صورت ضربه به گره‌های مجاور اعمال می‌گردد.



شکل پ-۵-۱- اثر دینامیکی فروجهش گرهی

پرش دینامیکی می‌تواند در ناپایداری نقطه دوشاخگی متقارن ناپایدار نیز رخ دهد. در این نوع ناپایداری همان‌گونه که در شکل پ-۵-۲ نشان داده شده است، مسیر بنیادین تعادل که از مبدأ سرچشمه می‌گیرد، سختی خود را در محل تقاطع خود با یک مسیر تعادل ثانوی نزولی ناپایدار از دست می‌دهد. در این نقطه تقاطع، که نمایشگر یک حالت بحرانی تعادل ناپایدار نیز می‌باشد، سازه در جستجوی حالت تعادل پایدار دیگری خواهد بود و از این‌رو یک پرش دینامیکی رخ خواهد داد. پرش دینامیکی می‌تواند در ناپایداری نقطه دوشاخگی نامتقارن نیز اتفاق افتد، ولی در اغلب حالت‌ها، سازه‌های فضاکار ناپایداری‌های از نوع نقطه حدی و یا نقطه دوشاخگی متقارن ناپایدار را از خود بروز می‌دهند.



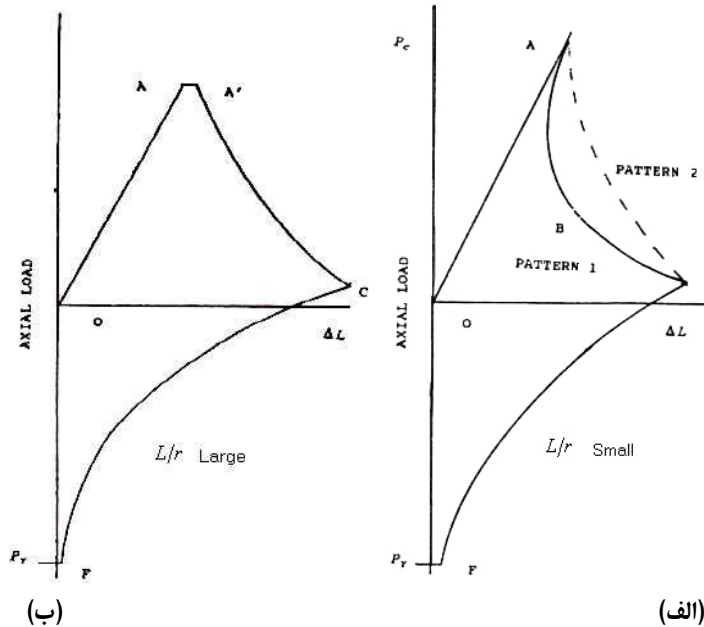
شکل پ-۵-۲- فروجهش دینامیکی در ناپایداری نقطه دوشاخگی متقارن ناپایدار

فروجهش گرهی می‌تواند به عنوان یک فروجهش محلی یا فروجهش کلی رخ دهد. بنابراین درک تمایز بین "فروجهش محلی" و "فروجهش کلی" ضروری است.

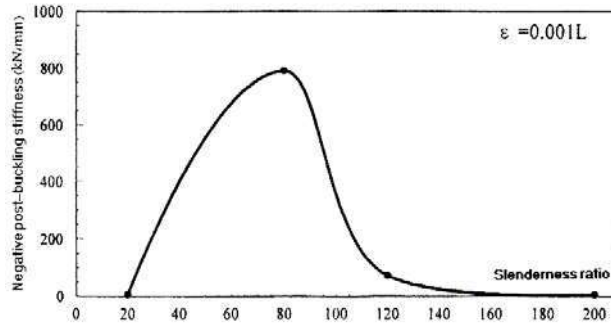
۲- فروجهش عضوی

از آنجایی که اغلب سازه‌های فضاکار تک‌لایه با اتصالات صلب ساخته می‌شوند، این سازه‌ها را می‌توان به عنوان سازه‌های فضاکار با اتصالات صلب ایده‌آل‌سازی نمود. اگرچه در عمل اتصالات واقعی مفصلی وجود ندارند، ولی سازه‌های فضاکار دولایه را که با توجه به شیوه همبندی حالات با اتصال مفصلی آن‌ها از نظر ایستایی، پایدار می‌باشند، می‌توان به عنوان سازه‌های فضاکار با اتصالات مفصلی نیز ایده‌آل‌سازی نمود. در حالت اتصال مفصلی فرض می‌شود که اتصالات نمی‌توانند لنگرها را منتقل نمایند. هرگاه فرض شود که یک سازه فضاکار شبکه‌ای دولایه، همانند سازه‌های متشکل از اعضای با دو انتهای مفصلی عمل می‌نماید، در این صورت رفتار انفرادی اعضا، اثر تعیین‌کننده در رفتار مجموعه سازه خواهد داشت. در شکل پ-۵-۳، منحنی پاسخ بار محوری-تغییرمکان محوری اعضای فشاری با انتهای مفصلی نشان داده شده است. در این شکل L ، طول و I شعاع ژیراسیون عضو می‌باشد. نقطه A بیانگر بار کمانشی است که به ناکاملی اولیه و نسبت لاغری اعضا بستگی دارد. شکل منحنی کمانش نیز بعد از بروز کمانش به نسبت لاغری اعضا وابسته خواهد بود. بر اساس مطالعات انجام یافته، با کاهش نسبت لاغری، بار کمانشی و شیب منفی پس کمانشی افزایش می‌یابند. در شکل پ-۵-۴ نمودارهای نمایشگر ماهیت تغییرات سختی منفی پس کمانشی برای نسبت‌های لاغری بزرگ و کوچک، به ازای ناکاملی اولیه، ε و معادل 0.01 طول عضو نشان داده شده است. با افزایش ناکاملی اولیه، بار

کمانشی کاهش یافته، ولی منحنی پس‌کمانشی حساسیت کمتری نشان خواهد داد. همچنین میزان انعطاف‌پذیری انتهایی اعضای فشاری در ضریب بار پس‌کمانشی (نسبت بار پسماند به بار کمانشی) و میزان شیب منفی پس‌کمانشی تأثیرگذار خواهد بود. در اعضای فشاری، افزایش تنش تسلیم باعث کاهش ضریب بار پس‌کمانشی و افزایش شیب منفی پس‌کمانشی می‌گردد.



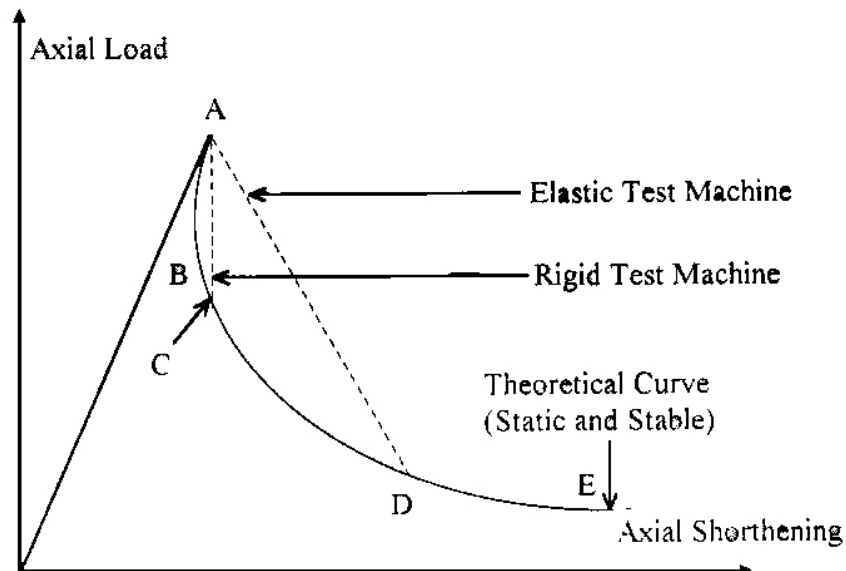
شکل پ - ۵-۳- منحنی بار محوری - تغییر مکان محوری اعضای فشاری: الف - نسبت لاغری بزرگ، ب - نسبت لاغری کوچک



شکل پ - ۵-۴- نمودار تقریبی تغییرات سختی منفی پس‌کمانشی - نسبت لاغری به ازای ناکاملی اولیه $\varepsilon = 0.001L$

مطابق شکل پ - ۵-۳ برای مقادیر بزرگ L/r ، ممکن است بعد از کمانش، یک ناحیه ثابت AA' وجود داشته باشد که با کاهش تدریجی بار تا تراز بار پسماند در C دنبال خواهد شد. اما برای مقادیر کوچک و متوسط L/r ، مسیر باربرداری یک منحنی برگشتی با انحنای زیاد خواهد بود که دارای شیب منفی قابل ملاحظه‌ای می‌باشد (منحنی ABC) یا آن که همانند منحنی AC دارای شیب پس‌کمانشی بیشتری خواهد بود. اعضای فشاری با مقادیر L/r کوچک و متوسط، کمانشی از نوع متفاوت با اعضای فشاری با مقادیر L/r بالنسبه بزرگ به نمایش می‌گذارند. منحنی ABC در شکل پ-۵-۳ نمایشگر پاسخ نظری است که انتظار نمی‌رود در یک عضو واقعی رخ دهد. بلکه در این حالت، نیرو به‌طور دینامیکی کاهش پیدا کرده و یک پرش دینامیکی یا فروجهش در رفتار پس-کمانشی چنین عضوی پدید می‌آید. شکل پ-۵-۵، مقایسه‌ای از پاسخ‌های پس‌کمانشی پایدار و ناپایدار در ابتدای ناحیه پلاستیک

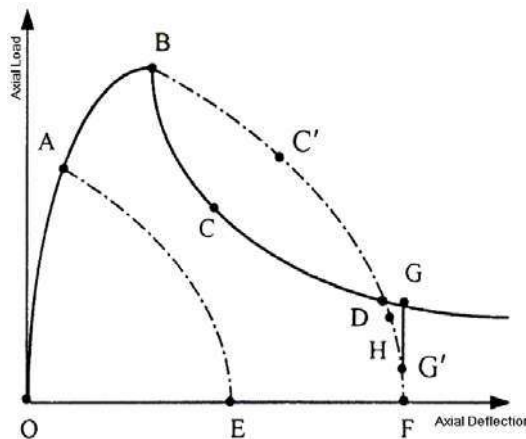
یک عضو فشاری را نشان می‌دهد. منحنی ABCDE نمایشگر پاسخ نظری است، در حالی که مسیر باربرداری واقعی مشابه ADE می‌باشد. در آزمایشات فشاری یک میله، هنگام رسیدن به بار بیشینه، میله کمانش کرده و ناپایدار خواهد شد و برای نیل مجدد به حالت تعادل روی مسیر ABCDE ناچار به کاهش بار می‌باشد که همراه با افزایش در تغییر مکان نیز خواهد بود. اگر دستگاه آزمایش بی‌نهایت صلب باشد، در این صورت مسیری که دنبال خواهد شد، مسیر AC خواهد بود. ولی در عمل یک دستگاه بارگذاری به صورت الاستیک عمل می‌نماید، هنگامی که میله کمانش می‌کند، به دلیل رهایی کرنش‌ها در داخل خود دستگاه، تغییر مکان‌های اضافی نیز در نمونه آزمایشگاهی وارد می‌شود. این عامل موجب می‌شود که به جای برداشت مسیر ناپایداری با افت ناگهانی بار، AC، نتایج آزمایشگاهی مسیر AD را با شیب متفاوت با حالت دستگاه آزمایش کاملاً صلب نشان دهند. حرکت از A تا D یک پرش دینامیکی بوده که به عنوان پدیده فروجهش عضوی تلقی می‌شود. در بازیافت مجدد تعادل در D، میله دیگر به صورت دینامیکی عمل نمی‌کند و می‌توان آن را به صورت استاتیکی فرض نمود. بنابراین ناحیه‌های پایینی منحنی‌های پس‌کمانشی حاصل از نتایج تجربی و نظری را تقریباً می‌توان یکسان در نظر گرفت.



شکل پ-۵-۵- مقایسه پاسخ‌های پس‌کمانشی پایدار و ناپایدار یک عضو فشاری

در منحنی ABC شکل پ-۵-۳ (الف)، مدول مماسی منفی در منطقه A روی مسیر باربرداری، بسیار بزرگ می‌باشد. این پاسخ نظری عضو در یک سازه، تنها در حالتی قابل تحقق است که دستگاه آزمایش دارای صلبیت به مراتب بیشتری نسبت به سختی منفی عضو باشد. اگر دستگاه بارگذاری دارای صلبیت کمتری نسبت به سختی منفی عضو باشد، در این صورت با پرش عضو به یک حالت تعادل، به‌طور ناگهانی مقدار انرژی بالنسبه قابل ملاحظه‌ای رها خواهد شد. دستگاه بارگذاری برای یک عضو در یک سازه فضاکار، نمایشگر سازه باقیمانده می‌باشد که عضو به آن متصل است. بنابراین برای تعیین رفتار عضو در یک سازه فضاکار در ناحیه پس‌کمانشی لازم است سختی سازه باقیمانده را با سختی منفی پس‌کمانشی عضو مقایسه نمود. حال، یک سازه فضاکار شبکه‌ای دو لایه با اتصالات مفصلی را در نظر گرفته، فرض می‌کنیم که عضو فشاری تعادل و سازگاری خود را با سازه باقیمانده، که عضو به آن متصل است، حفظ می‌کند. بنابراین، اندرکنش عضو با سازه باقیمانده را می‌توان بر حسب رابطه تعادل و سازگاری نیروی محوری - تغییر مکان توصیف نمود. یک رابطه نمونه بین پاسخ غیرخطی عضو و سازه باقیمانده در شکل پ-۵-۶ نشان داده شده است. منحنی

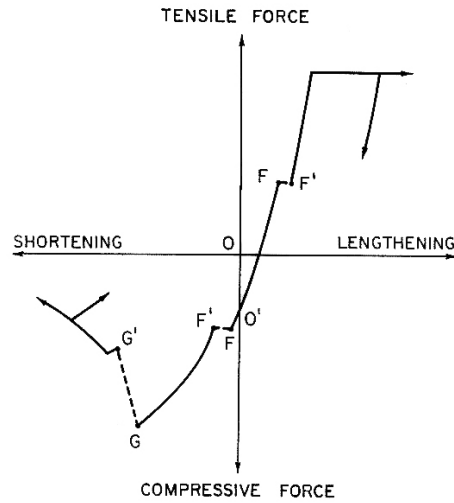
OABCD نمایشگر پاسخ عضو می‌باشد، منحنی‌های OAE و OBDF به ترتیب پاسخ سازه باقیمانده فاقد عضو مزبور تحت بارگذاری خارجی معلوم و همچنین پاسخ سازه باقیمانده با جایگزینی نیروی محوری معادل به جای عضو را نشان می‌دهند. بنابراین در نقاط A، B و D بین عضو و سازه اتصالی باقیمانده تعادل و سازگاری وجود دارد. می‌توان مشاهده نمود که تحت شرایط خاصی، به ازای یک بار خارجی معلوم، به عنوان مثال در B و D دو جواب می‌تواند وجود داشته باشد. بنابراین در اثر ادامه بارگذاری سازه تا نقطه B که خود یک نقطه نمایشگر وضعیت ناپایدار می‌باشد، با توجه به آن که سختی منفی پس‌کمانشی عضو از سختی سازه باقیمانده افزون‌تر است، یک افزایش بسیار کوچک در تغییر مکان محوری موجب خواهد شد که نیروی ناشی از سازه باقیمانده، از نیروی متناظر با حالت تعادل در عضو به ازای همان تغییر مکان، بزرگ‌تر گردد. در نتیجه شرایط تعادل نقض گردیده و تغییر مکان محوری عضو ادامه خواهد یافت. به عبارت دیگر، فروجهش محوری روی خواهد داد تا تعادل و سازگاری مجدداً در نقطه D میسر شود. طی این پدیده بخشی از کار انجام شده توسط سازه در عضو اتلاف می‌شود. انرژی اضافی که به وسیله BCDC' بین پاسخ‌های عضو و سازه اتصالی باقیمانده مشخص می‌شود، موجب خواهد شد که بین G و G' حالت نوسانی پیش آید که طی آن انرژی اتلاف گردد. بعد از نوسان، تعادل و سازگاری در نقطه H حاصل خواهد شد. با ادامه بارگذاری عضو از نقطه H به G' باز خواهد گشت و سپس مسیر منحنی پس‌کمانشی نرم‌شونده را دنبال خواهد نمود.



شکل پ-۵-۶- پاسخ‌های عضو و سازه باقیمانده اتصالی به هنگام پدیده فروجهش عضوی

بنابراین نتیجه می‌شود که اگر سختی موثر سازه باقیمانده کوچک‌تر از سختی منفی پس‌کمانشی عضو باشد، در این صورت یک ناپایداری محلی وجود خواهد داشت و عضو در حالت تعادل ناپایدار خواهد بود و به ازای یک اختلال کوچک کوتاه خواهد شد تا تعادل بین عضو و سازه باقیمانده حاصل شود. ولی اگر سختی موثر سازه باقیمانده بزرگتر از سختی منفی پس‌کمانشی عضو باشد، در این صورت وضعیت پایدار خواهد بود. در این شرایط عضو در حالت تعادل پایدار خواهد بود و مسیر باربرداری عضو، یعنی مسیر BCD، می‌تواند بدون پرش دینامیکی دنبال شود همچنین در این حالت، برای آن که بخش پایینی پاسخ پس‌کمانشی عضو دنبال شود، بار اضافی خارجی مورد نیاز خواهد بود.

شکل پ-۷-۵ یک نمونه پاسخ عضو در اندرکنش با سازه باقیمانده را نشان می‌دهد. در این شکل، OO'، FF' و GG' به ترتیب نمایشگر تنش اولیه ناشی از عدم تناسب، لغزش گرهی و فروجهش محوری می‌باشند.

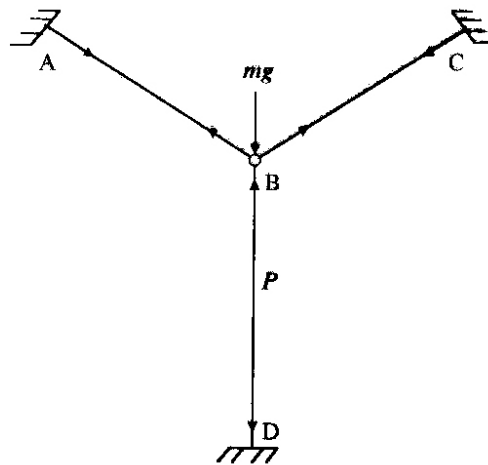


شکل پ-۵-۷- اندرکنش عضو و سازه اتصالی باقیمانده - پدیده فروجهش عضوی

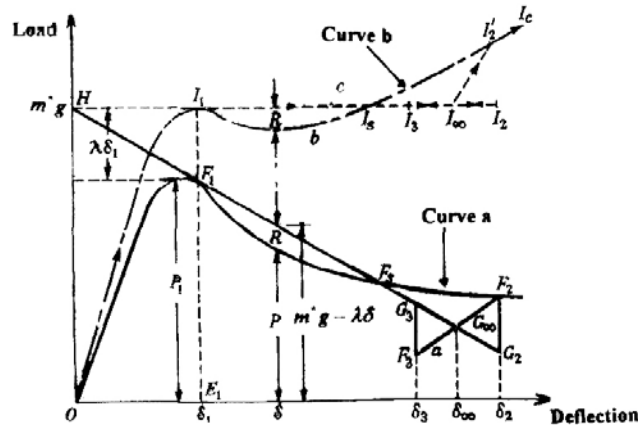
۳- آثار توأم فروجهش گرهی و عضوی

در حالات خاصی امکان وقوع فروجهش گرهی و عضوی به‌طور توأم وجود دارد. برای تشریح این پدیده، رفتار خریای نشان داده شده در شکل پ-۵-۸ قابل مطالعه است. در شکل پ-۵-۹، منحنی a رابطه (p, δ) عضو فشاری را نشان می‌دهد. فرض می‌شود که اعضای AB و CB دارای رفتار الاستیک بوده و توأماً دارای سختی λ در برابر تغییرمکان قائم گره B می‌باشند. به ازای بار قائم m^*g در B شرط تعادل استاتیکی ایجاب می‌نماید که: $m^*g = p + \lambda\delta$.

با افزایش یکنواخت بار m^*g از صفر، در مرحله نخست، تعادل استاتیکی حفظ می‌شود. رابطه بین m^*g و δ در شکل با OI_1 نشان داده شده است. به ازای تغییرمکان δ_1 ، نیروی P_1 در عضو فشاری با E_1F_1 نمایش داده می‌شود. خط F_1H دارای شیب λ می‌باشد، بنابراین: $F_1L_1 = \lambda\delta_1$ و $E_1L_1 = P_1 + \lambda\delta_1$ خواهند بود. با توجه به معادله فوق، E_1L_1 نمایشگر بار m^*g می‌باشد. منحنی b نمایشگر رابطه (m^*g, δ) ، یعنی رفتار سازه خواهد بود. در روابط فوق، L_1 طول عضو فشاری می‌باشد.



شکل پ-۵-۸- خریای ساده شامل یک عضو فشاری با اتصالات مفصلی



شکل پ-۵-۹- پاسخ بار- تغییر مکان خرابی ساده شامل یک عضو فشاری با اتصالات مفصلی

ملاحظه می‌شود که به ازای تغییر مکان‌های بزرگ‌تر از δ_1 ، بار تعادل به مقداری کمتر از m^*g افت می‌کند. در این حالت، تحت بارگذاری نیرویی، تعادل استاتیکی برقرار نخواهد بود؛ بنابراین فروجهش گرهی در سازه رخ می‌دهد. براساس معادله تعادل استاتیکی فوق‌الذکر، این حالت فروجهش گرهی هنگامی اتفاق می‌افتد که $\frac{dP}{d\delta} > \lambda$ باشد. به عبارت دیگر، در این وضعیت، سختی منفی پس‌کمانشی عضو فشاری از سختی توأم دو عضو باقیمانده بیشتر است. بر اساس آنچه که در بحث کمانش عضوی ذکر شد، این شرایط متناظر با فروجهش عضوی می‌باشد. با توجه به شکل، به ازای هر δ فراتر از δ_1 یک نیروی رو به پایین R موثر بر جرم m^* خواهیم داشت. که مقدار آن برابر است با:

$$R = m^*g - P - \lambda\delta \quad (\text{پ-۵-۱})$$

همچنین ملاحظه می‌شود که R نمایشگر اختلاف خط سختی HG_2 (خط فروجهش عضوی) و پاسخ نظری عضو فشاری (منحنی a) می‌باشد. در نقطه F_s که نمایشگر نقطه پایان فروجهش عضوی است، مقدار R صفر بوده و تعادل استاتیکی حاصل خواهد شد. در فروجهش عضو از نقطه F_1 تا نقطه F_s ، R همواره مثبت بوده و بنابراین، باعث ایجاد شتاب در جرم m^* خواهد گردید. در نتیجه جرم m^* تحت اثر این شتاب دارای حرکت نوسانی خواهد بود. با در نظر گرفتن میرایی، تعادل نهایی در δ_∞ حاصل خواهد شد. همچنین ملاحظه می‌شود که نخستین مرحله پرش دینامیکی گرهی از نقطه I_1 تا نقطه I_2 با نوسان بین I_2 و I_3 دنبال خواهد شد. که در نهایت در نقطه I_∞ میرا خواهد گردید. با افزایش بارگذاری بر سازه، تغییر شکل عضو فشاری مسیر $G_\infty F_2$ و رابطه بار- تغییر مکان مسیر $I_\infty I_2'$ را دنبال خواهند کرد.

پیوست ۶- الف

مبانی طراحی

مقدمه

سازه فضاکار را می‌توان به مثابه سیستمی انگاشت که با سه دسته از کمیت‌ها در ارتباط تنگاتنگ می‌باشد:

(الف) - کمیت‌های ورودی که بر سیستم اعمال می‌گردند، شامل بارهای اعمالی و عوامل محیطی

(ب) - کمیت‌های مشخصه که سیستم را تعریف می‌نمایند، شامل مشخصه‌ها و خواص سازه، شرایط سرحدی تغییرمکانی، ویژگی‌های هندسی، خواص مصالح، جرم، نسبت استهلاک و ...

(پ) - کمیت‌های خروجی که پاسخ سیستم را ارائه می‌دهند، شامل تلاش‌ها، تنش‌ها، کرنش‌ها، تغییرمکان‌ها، تغییرزاویه‌ها،...

در این آیین‌نامه کمیت‌های سه‌گانه مذکور در فوق به طور کلی در فضا به صورت منفصل و نسبت به زمان به صورت پیوسته در نظر گرفته می‌شوند.

در تحلیل سازه، کمیت‌های ورودی و مشخصه سیستم، هم در مرحله حدس اولیه، هم در مراحل تدقیق طراحی، به صورت داده‌های ورودی منظور می‌شوند. نتایج تحلیل سازه شامل مقادیر پاسخ یا کمیت‌های خروجی خواهند بود. به عبارت نمادین:

$$U(t) = U[W(t), S_q(t)] \quad (\text{پ-۶-الف-۱})$$

که در آن: $W(t)$ نمایشگر کمیت‌های ورودی، $S_q(t)$ نمایشگر کمیت‌های مشخصه سیستم و $U(t)$ به عنوان تابع پاسخ سازه منظور گردیده‌اند.

در حالتی که تابع $U[W(t), S_q(t)]$ به صورت آنالیتیک تعریف شده باشد، حل سیستم "به صورت بسته" حاصل گردیده و در غیر این صورت، استفاده از فرایند عددی جهت تعیین خروجی (پاسخ سازه) مورد نیاز خواهد بود.

عدم قطعیت و مبانی احتمالی‌اندیشانه تحلیل سازه‌های فضاکار

تحلیل سازه‌ها معمولاً به منظور طراحی برای احداث سازه‌های جدید و یا جهت ارزیابی ایمنی سازه‌های موجود انجام می‌شود. اگرچه در نگاه اول دو حالت مذکور در فوق بسیار متفاوت به نظر می‌رسند، ولی از نظر آنکه در هر دو حالت کمیت‌های ورودی و کمیت‌های سیستم به دلایل گوناگون، از جمله عدم قطعیت، غیردقیق و گاه نامشخص می‌باشند، با یکدیگر مشابهت‌هایی نیز دارند. بارهای اعمال شده یا قابل پیش‌بینی، هرگز به طور دقیق قابل شناسایی نمی‌باشند. این بارها را از اطلاعات ثبت شده حاصل از مطالعه سازه‌های نظیر تخمین می‌زنند؛ ولی چنین اطلاعاتی در مورد دو سازه مشابه عملاً یکسان نمی‌باشند.

تفسیر - عدم قطعیت در مورد میزان واقعی بارها را می‌توان با اندازه‌گیری بالنسبه دقیق بارهای مرده و کنترل میزان بارهای زنده اعمالی کاهش داد. البته این‌گونه اندازه‌گیری‌ها اغلب در موارد خاص ممکن بوده و اغلب با توجه خاص به مقادیر حداکثر بارها صورت می‌گیرد و شامل تاریخچه کامل اعمال بار نمی‌گردد.

همچنین در مورد کمیت‌های مرتبط با مشخصات هندسی سیستم نیز اصل عدم قطعیت صادق می‌باشد، ولی غالباً میزان نامشخصی‌ها نسبت به کمیت‌های ورودی (کنش‌ها) محدودتر است.

تفسیر - در سازه‌های موجود، برخی از کمیت‌های هندسی از قبیل طول و زوایای اعضای سازه فضاکار را اغلب می‌توان با دقت کافی اندازه‌گیری کرد؛ ولی برخی دیگر از کمیت‌های مرتبط با مشخصات هندسی سازه را تنها در تعداد محدودی از نقاط یا مواضع می‌توان اندازه‌گیری نمود. این امر در مورد کمیت‌هایی مانند انحنا یا ناکاملی اولیه اعضا منجر به تأثیرات قابل ملاحظه‌ای در نتایج تحلیل می‌گردد.

در مورد خواص مکانیکی و مقاومتی و پایایی مصالح، نه تنها انتظار می‌رود از یک نقطه تا نقطه دیگر تغییراتی موجود باشد، بلکه اغلب به تخمین غیرمستقیم این خواص بسنده می‌شود. گاه پاسخ حاصل از تحلیل سازه حساسیت زیادی به تغییرات برخی از کمیت‌های مرتبط با خواص مصالح نشان می‌دهد.

تفسیر - کمیتی را که گونه‌های مختلف عدم قطعیت به شرحی که در فوق ذکر گردید، در مورد آن صدق نماید، کمیت تصادفی و اغلب متغیر تصادفی می‌نامند. از مشخصه‌های چنین کمیتی آن است که این نوع کمیت‌ها تابع زمان نمی‌باشند. در مقابل، کمیتی را که تابع زمان (یا بعضی از پارامترهای مستقل دیگر) باشد، فرایند تصادفی می‌نامند. لذا متغیر تصادفی، نوع خاصی از فرایند تصادفی می‌باشد. کمیت تصادفی را نمی‌توان با تابع یا اندازه‌گیری واحدی تعریف نمود. در واقع هر لحظه، یا هر دفعه که چنین کمیتی اندازه‌گیری و ثبت می‌گردد، تابع نمونه جدیدی حاصل می‌شود. هر تابع نمونه، تحقق ویژه‌ای از فرایند تصادفی را ارائه می‌دهد. مجموعه کلیه توابع نمونه ممکن، کل فرایند تصادفی را ارائه می‌نماید که تنها از طریق خواص احتمالی مربوطه قابل توصیف است و امکان تخمین کرانه پایینی را در درجه‌ای از اطمینان میسر می‌سازد.

در تضاد با کمیت‌های تصادفی، کمیتی که در مورد آن میزان قابل اعتنایی از موارد عدم قطعیت صدق نماید، کمیت تعیینی خوانده می‌شود. در این حالت کلیه توابع نمونه‌گیری شده با یکدیگر یکسان فرض می‌گردند.

در صورتی که کمیت‌های ورودی (کنش‌ها) و کمیت‌های مشخصه سیستم سازه از نوع تصادفی باشند، این امر در مورد کمیت‌های خروجی (پاسخ سازه) اثر خواهد گذاشت. لذا تحلیل احتمال‌اندیشانه سازه فضاکار عبارت است از کاربری معادله (پ-۶الف-۱) جهت تعیین خصوصیات احتمالی فرایند تصادفی خروجی $\vec{U}(t)$ ، با استفاده از مقادیر اطلاعات ورودی (شامل: الف- بخش احتمالی، که به صورت کمیت‌های تصادفی ارائه می‌گردند و ب- بخش تعیینی اطلاعات ورودی که به صورت مقادیر ثابت ارائه می‌شوند).

منبع دیگر عدم قطعیت در نتایج حاصل از تحلیل (فرایند خروجی) در فرمول‌بندی روابط تحلیل نهفته است که در اینجا به طور نمادین با رابطه (پ-۶الف-۱) نشان داده شد. این فرمول‌بندی‌ها مدل‌های ریاضی (تحلیلی یا عددی) از واقعیت بوده و در ماهیت، تقریبی می‌باشند.

حالات حدی

کلیات و مفاهیم بنیادین

پس از محاسبه پاسخ سیستم سازه فضاکار از طریق روش‌های تحلیل سازه (چه تعیینی و چه تصادفی)، لازم است از دیدگاه عملکرد در تراز بهره‌برداری و در تراز ایمنی بررسی و قضاوت لازم صورت گیرد.

تفسیر - معیارهای پذیرش در ترازهای بهره‌برداری و ایمنی، برحسب نوع پارامترهای پاسخ مورد نظر، مورد بررسی قرار داده می‌شوند. به عنوان مثال، در صورتی که تغییر مکان یا شتاب مورد مطالعه قرار داده شود، باید بررسی گردد که کمیت مورد نظر به چه میزان (یا دفعات) و در چه طول مدتی از مقدار مشخصی، که ایمنی یا بهره‌برداری ایمن را مورد تهدید قرار می‌دهد، طی طول عمر مفید سازه تجاوز می‌نماید.

در صورتی که پاسخ فرایندی تصادفی باشد، جواب به این سؤال تنها در قالب احتمال اندیشانه قابل آرایه است. در این حالت به طور معمول لازم است بازه زمانی را که طی آن، پارامتر مربوط از مقدار مشخصی تجاوز نماید، به صورت کمی تعیین نماییم. در عمل، قضاوت در مورد پاسخ سازه اغلب به نحو ساده‌تری صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر، فرض می‌گردد سازه هنگامی به حالت حدی رسیده‌است که یک پارامتر به خصوص از پاسخ به مقدار حدی (یا آستانه) رسیده باشد. حالات حدی ممکن برای اغلب سازه‌ها متنوع می‌باشند. در آیین‌نامه‌های معتبر جهانی دو مجموعه از حالات حدی متمایز گردیده‌اند: حالت حدی نهایی و حالت حدی بهره‌برداری.

از حالات حدی نهایی، بسته به شرایط، موارد زیر در مورد سازه‌های فضاکار شبکه‌ای فولادی حایز اهمیت ویژه می‌باشند:

- (الف) - نقض شرایط تعادل در بخشی از سازه یا در کل سازه، وقتی به صورت جسم صلب در نظر گرفته شود،
- (ب) - حالت عملکرد فرا الاستیک، سیلان و گسیختگی پلاستیک،
- (پ) - حالت عملکرد فراکمانشی، ناپایداری هندسی اعضا یا اجزای تشکیل‌دهنده سازه،
- (ت) - بروز ناپایداری هندسی و تغییر مکان‌های بزرگ، فروجهش، ناپایداری گرهی و گونه‌های دیگر ناپایداری،
- (ث) - گونه‌های بروز شکست و ترک خوردگی شامل گسترش ترک ناشی از خستگی.

حالات حدی بهره‌برداری

از حالات حدی بهره‌برداری، گونه‌های زیر در خور توجه خاص می‌باشند:

- (الف) - حالتی که فراتر از آن، بهره‌برداری، به نحوی مختل می‌گردد یا در حین بهره‌برداری موجبات تشویش خاطر افراد فراهم می‌شود،
- (ب) - حدود ارتعاش قابل ملاحظه.

از دیدگاه حالات حدی بهره‌برداری، میزان تغییر مکان سازه و اعضای سازه و میزان ارتعاش دارای اهمیت ویژه می‌باشند. همچنین میزان ترک خوردگی در سازه‌ها و پوشانه‌های بتن‌آرمه از دیدگاه بهره‌برداری باید مورد توجه قرار داده شود.

فلسفه و مبانی طراحی مبتنی بر حالات حدی

هرگاه بخشی از سازه یا کل سازه برای نیت به‌خصوصی به حالت نامناسب و نامطلوبی رسد که در خور خدمت‌رسانی مورد نظر نباشد و موجب اختلال در بهره‌برداری یا ایجاد نگرانی گردد یا تهدیدی برای ایمنی تلقی شود، زیرمجموعه یا مجموعه سازه به حالت حدی رسیده است.

برخی از حالات حدی که اهمیّت ویژه‌ای به‌لحاظ احتمال بروز خطرات جانی دارند، باید مورد توجه خاصی قرار داده شوند. به طور کلی برای هر حالت حدی، یک نامعادله بحرانی قابل فرمول‌بندی می‌باشد که با بهره‌گیری از آن می‌توان در فضای کمیته‌های مربوط، حیطة پذیرش (یا حیطة توفیق)، S ، یا به عبارت دیگر بازه‌ای که نامعادله بحرانی در آن صادق است را از حیطة عدم پذیرش (یا حیطة عدم توفیق)، U ، که به بازه‌ای اطلاق می‌گردد که در آن نامعادله بحرانی صدق نمی‌نماید، تمیز داد.

فضای R و S به شرح زیر تعریف می‌گردد:

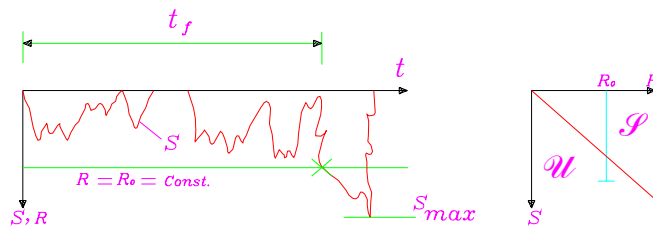
$S \geq 0$ عبارت است از پاسخ یا تقاضای به دست آمده در یک عضو، جزء، زیرمجموعه یا مجموعه سازه فضاکار بر اساس داده‌های مرتبط با کمیت‌های ورودی و مشخصه سیستم.

R عبارت است از ظرفیت عضو، جزء، زیرمجموعه یا مجموعه سازه فضاکار متناظر با تقاضای مورد نظر. به دلیل تصادفی بودن کمیت‌های ورودی، $S = S(t)$ در اغلب حالات یک فرایند تصادفی است.

تفسیر - ظرفیت R که بر اساس مفروضات مستدلی محاسبه گردیده است (و وابسته به خواص مصالح و ابعاد و خواص مقطع عضو است)، در حالت کلی کمیتی تصادفی است که در بسیاری از حالات به جز در حالات زوال مقاومت ناشی از اثرات محیطی یا کسب مقاومت تابع زمان در مصالح بتنی و نظایر آن، می‌توان آن را مستقل از زمان و به صورت متغیر تصادفی فرض نمود.

برای هر سازه واقعی، اگرچه مقاومت به قطعیت، مشخص نگردیده، ولی می‌توان مقدار ثابت نزدیک به واقعیت R_0 را براساس مطالعات نظری و آزمایشگاهی برای آن در نظر گرفت.

در صورتی که خط $R = R_0$ در مختصات (R, S) ظرفیت مستقل از زمان عضو را ارایه نماید، شکل (پ-۶-الف-۱-ب)، یک حالت ممکن یا اثر ناشی از یک فرایند بارگذاری تصادفی را با پاسخ $\check{S}(t)$ که خود نیز فرایندی تصادفی خواهد بود، نشان می‌دهد. حالت حدی آنگاه اتفاق می‌افتد که $S(t)$ از آستانه R_0 تجاوز نماید و این به معنی آن است که نقطه (R, S) به مرز حیطة عدم‌پذیرش U در شکل (پ-۶-الف-۱-الف)، برسد. زمان گسیختگی (زمان از شروع تا بروز حالت حدی نهایی)، t_f در شکل (پ-۶-الف-۱-ب)، یکی از معیارهای مهم قابلیت اطمینان سازه و از مهمترین خواص توصیفی فرایند تصادفی $\check{S}(t)$ می‌باشد.



شکل پ-۶-الف-۱-الف (الف)

شکل پ-۶-الف-۱-ب (ب)

اغلب برای محدوده زمانی $(0, t)$ نامعادله بحرانی تنها در بدترین وضعیت ممکن مورد کنترل قرار داده می‌شود. با توجه به اطلاعات در دسترس (از جمله در اختیار بودن بزرگ‌ترین مقدار بار در بازه زمانی مورد نظر)، استفاده از روش اخیرالذکر گاه ضروری است و به‌ویژه در حالاتی که عمر مفید طراحی برای سازه از پیش تعیین گردیده‌است، این امر حایز اهمیت خواهد بود. از دیدگاه احتمال‌اندیشانه، امر فوق به این صورت بیان می‌گردد که احتمال گسیختگی (در ارتباط با حالت حدی مورد بررسی)، PF ، عبارت است از احتمال آن که نامعادله بحرانی، حداقل یک بار در محدوده زمانی $(0, t)$ نقض گردد و احتمال مکمل قابلیت اطمینان (توفیق)، $R=PS$ ، عبارت است از احتمال آن که این نامعادله در بازه زمانی مزبور صادق باشد. به عبارت دیگر:

$$PF = \text{Prob} [\check{S} > \check{R} (0, t) \text{ حداقل یک بار در بازه}] = \text{Prob} [\max_t \check{S} > \check{R}] \quad (\text{پ-۶-الف-۲})$$

$$PS = 1 - PF = \text{Prob} [\check{S} < \check{R} (0, t) \text{ همواره در بازه}] = \text{Prob} [\max_t \check{S} \leq \check{R}] \quad (\text{پ-۶-الف-۳})$$

که در آن $\max_t \tilde{S}$ عبارت است از یک متغیر تصادفی که به صورت بزرگترین مقدار قابل حصول فرایند تصادفی $\tilde{S}(t)$ در محدوده زمانی $(0, t)$ تعریف می‌گردد.

پیوست ۶-ب

ملزومات طراحی مبتنی بر حالات حدی

۱- کلیات

ملزومات طراحی مبتنی بر حالات حدی

در طراحی مبتنی بر حالات حدی ملزومات زیر باید ملحوظ گردند:

- کنترل‌های لازم، به نیت حصول اطمینان از آن که هیچ‌یک از حالات حدی مربوط نقض نگردیده باشند، به عمل آید.
- تمامی شرایط طراحی و حالات بارگذاری در نظر گرفته شوند.
- انحرافات و تغییرات محتمل از امتدادها و موقعیت‌های مفروض کنش‌ها در نظر گرفته شوند.
- محاسبات فنی با بهره‌گیری از مدل‌های طراحی واقع‌گرایانه به عمل آید و در صورت لزوم با آزمایش تدقیق گردد.
- مدل‌های تحلیل باید شامل تمامی پارامترهای مؤثر باشند.
- مدل تحلیل برای تخمین رفتار سازه در چارچوب مقاصد طراحی از دقت کافی برخوردار باشد.
- استانداردهای متعارف کیفی اجرای سازه‌های فضاکار و قابلیت اعتماد و اطلاعات مبنای طراحی ارضا گردند.

۲- حالات حدی نهایی

شرایط صحت سنجی

- در بررسی حالت‌های حدی تعادل استاتیکی یا تغییر مکان‌های ظاهری یا تغییر شکل‌های سازه، لازم است رابطه زیر برقرار باشد:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab} \quad (\text{پ-۶-ب-۱})$$

که در آن $E_{d,dst}$ نمایشگر آثار ناشی از کنش‌های ناپایدارکننده و $E_{d,stab}$ نشان‌دهنده آثار ناشی از عوامل پایدار سازنده می‌باشند.

- هرگاه حالات حدی گسیختگی یا تغییر شکل متزاید یک مقطع، عضو، اتصال یا پیونده مورد بررسی است، لازم است صحت‌سنجی به منظور تأیید و ارضای رابطه زیر به عمل آید:

$$S_d \leq R_d \quad (\text{پ-۶-ب-۲})$$

- که در آن، S_d مقدار طراحی یک نیرو یا لنگر داخلی (مقدار نمایشگر تقاضا) و R_d مقدار طراحی مقاومت (مقدار نمایشگر ظرفیت) متناظر می‌باشند.

۳- مقادیر مشخصه کنش‌ها

- مقادیر مشخصه کنش‌ها، F_k ، به شرح زیر تعیین می‌گردند:

الف-) بر اساس آیین‌نامه بارگذاری معتبر مورد استفاده در هماهنگی با فصل سوم این آیین‌نامه، یا

ب-) بر اساس خواسته‌های کارفرما یا پیشنهادات مبتنی بر مطالعات ویژه طرح که به تأیید کارفرما رسیده باشد.

در این حالت، ملزومات حداقل آیین‌نامه‌های معتبر بارگذاری سازه‌های با کاربری نظیر با رعایت موارد مندرج در فصل سوم این آیین‌نامه باید ارضا گردند.

- در مورد کنش‌های دایمی، هرگاه ضریب تغییرات قابل ملاحظه باشد، یا آنکه احتمال تغییر مقادیر عوامل در طول عمر مفید سازه قابل ملاحظه باشد، دو مقدار مشخصه را باید از یکدیگر متمایز نمود. مقدار مشخصه کرانه بالایی، G_k^{sup} و مقدار مشخصه کرانه پایینی G_k^{inf} ؛ در غیراین صورت، مقدار مشخصه واحد G_k کفایت خواهد نمود.

- در مورد کنش‌های متغیر، مقدار مشخصه، Q_k ، بر اساس مقادیر از پیش تعیین شده تعریف می‌گردد، در صورت عدم کفایت اطلاعات لازم، می‌توان مقدار مشخصه را به صورت مقدار کرانه بالایی تعریف نمود با این نیت که از آن مقدار تجاوز نگردد (یا احتمال تجاوز به میزان قابل‌پذیرشی اندک باشد). همچنین می‌توان مقدار مشخصه را به صورت مقدار کرانه پایینی تعریف نمود که احتمال نیل به آن با درجه احتمال معینی ارایه گردیده باشد.

- در مورد کنش‌های تصادفی، مقادیر مشخصه A_k به طور کلی باید از سوی مراجع ذیصلاح یا براساس مطالعات ویژه تعیین گردند.

مقادیر معرف کنش‌های متغیر

مهمترین مقدار معرف این کنش‌ها عبارت است از مقدار مشخصه Q_k .
مقادیر معرف دیگر، از طریق ضرایب ψ_i به مقادیر مشخصه مرتبط می‌گردند.
مقادیر ψ_i در این آیین‌نامه معرف شرایط زیر می‌باشند:

$\psi_0 Q_k$: مقدار ترکیب بار

$\psi_1 Q_k$: مقادیر با احتمال وقوع زیاد

$\psi_2 Q_k$: مقادیر شبه دایمی

مقادیر ψ_0 ، ψ_1 و ψ_2 یا باید براساس آیین‌نامه معتبر سازگار با دیدگاه‌های مطروحه یا استاندارد بارگذاری مربوط و با توجه به موارد مندرج در فصل سوم این آیین‌نامه تعیین گردند، یا توسط کارفرما، یا براساس مطالعات ویژه توسط طراح پیشنهاد و به تأیید کارفرما رسانده شوند. در هر حالت، نباید این مقادیر از مقادیر حداقل تعیین شده در استانداردهای بارگذاری مربوط کمتر اختیار گردند یا به بیان دقیق‌تر باید به نحوی در نظر گرفته شوند که نامطلوب‌ترین حالت را از آنچه که از مقادیر تعیین شده در استانداردهای بارگذاری مربوط حاصل می‌گردد، در برگیرند.

مقادیر معرف مکمل

این مقادیر در ارتباط با آثاری نظیر خستگی و کنش‌های دینامیکی مشخص می‌گردند.

مقادیر طراحی کنش‌ها

مقدار طراحی F_d هر کنش در بیان کلی عبارت است از:

$$F_d = \gamma_F F_k$$

(پ-۶-ب-۳)

که در آن γ_F ضریب پاره‌ای کنش مورد نظر است که احتمال انحراف از مقادیر کنش‌ها، اثر عدم قطعیت در مدل‌سازی آن‌ها، عدم قطعیت در تعیین مقادیر و همچنین عدم قطعیت در ارزیابی حالت حدی مورد نظر را در برخواهد گرفت. بنابراین مقادیر γ_F برای عوامل متفاوت به صورت زیر نمایش داده می‌شوند:

$$G_d = \gamma_G G_k \quad (\text{پ-۶-ب-۴-الف})$$

$$Q_d = \gamma_Q Q_k \quad \text{یا} \quad \gamma_Q \psi_i Q_k \quad (\text{پ-۶-ب-۴-ب})$$

مگر آنکه A_d مستقیماً تعریف شده باشد.

$$A_d = \gamma_A A_k \quad (\text{پ-۶-ب-۵})$$

مقادیر کرانه بالا و پایین کنش‌های دائمی به صورت زیر خواهند بود:
- هرگاه تنها یک مقدار مشخصه تعریف گردیده باشد:

$$G_{d,sup} = \gamma_{G,sup} G_k \quad (\text{پ-۶-ب-۶-الف})$$

و

$$G_{d,inf} = \gamma_{G,inf} G_k \quad (\text{پ-۶-ب-۶-ب})$$

- هرگاه مقادیر کرانه بالایی و پایینی مشخصه تعریف گردیده باشند:

$$G_{d,sup} = \gamma_{G,sup} G_{k,sup} \quad (\text{پ-۶-ب-۷-الف})$$

$$G_{d,inf} = \gamma_{G,inf} G_{k,inf} \quad (\text{پ-۶-ب-۷-ب})$$

که در آن کمیت‌های ذی‌ربط به شرح زیر تعریف شده‌اند:

$G_{k,inf}$ مقدار مشخصه کرانه پایینی کنش دائمی،

$G_{k,sup}$ مقدار مشخصه کرانه بالایی کنش دائمی،

$\gamma_{G,inf}$ مقدار کوچک‌تر ضریب ایمنی پاره‌ای بار دائمی،

$\gamma_{G,sup}$ مقدار بزرگ‌تر ضریب ایمنی پاره‌ای بار دائمی.

مقادیر طراحی آثار ناشی از کنش‌ها

در اینجا آثار ناشی از کنش‌ها با E نشان داده می‌شوند و نمایشگر پاسخ سازه به این کنش‌ها می‌باشند.

مقادیر طراحی آثار ناشی از کنش‌ها (E_d) بر اساس مقادیر طراحی کنش‌ها (F_d)، داده‌های هندسی (a_d) و مشخصه‌ها و خواص

مصالح تعیین می‌گردند. به عبارت دیگر، مقادیر E_d تابعی از F_d و a_d و پارامترهای دیگر چندی خواهند بود.

۴- خواص مصالح

مقادیر مشخصه

خواص مصالح از طریق مقادیر مشخصه پارامتر مربوطه، X_k ارایه می‌گردد که به‌طور کلی به‌نتایج حاصل از آزمایش‌های استاندارد

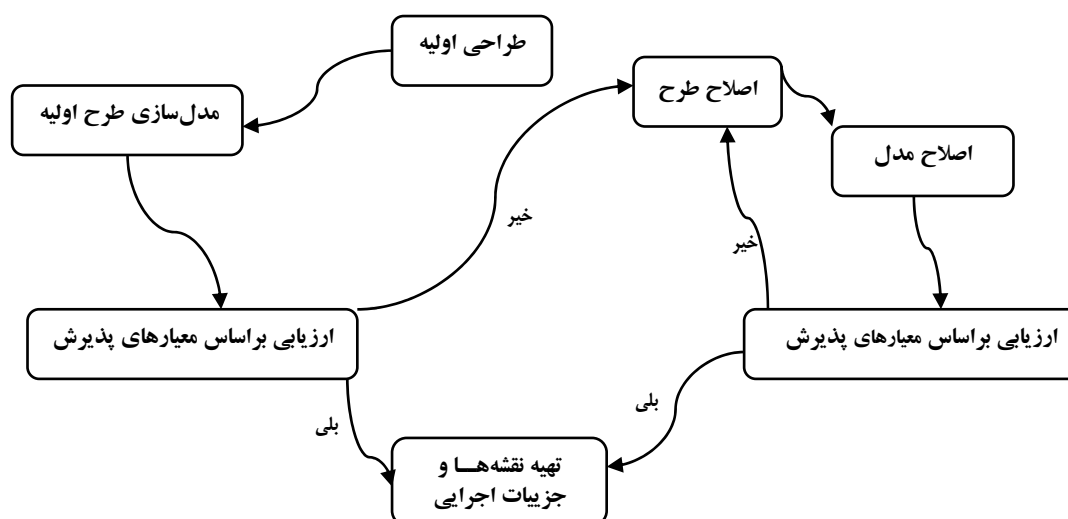
مصالح در شرایط استاندارد اطلاق می‌گردد.

- در حالات مشخص، مقدار اسمی پارامتر مصالح به عنوان مقادیر مشخصه به کار گرفته می‌شود.
- خواص مصالح فولادی به طور کلی از طریق مقادیر اسمی پارامتر مصالح به عنوان مقادیر مشخصه به کار گرفته می‌شود.
- یک پارامتر خاص از مصالح ممکن است حاوی دو مقدار مشخصه کرانه بالایی و کرانه پایینی باشد. در حالات کنترل عضو حفاظت‌نشده از دیدگاه ظرفیتی معمولاً کرانه پایینی و در طراحی اعضای دیگری که به صورت حفاظت‌شده طراحی می‌گردند، باید مقدار میانگین به عنوان مقدار مشخصه عضو حفاظت‌نشده به کار برده شود.

۵- فرآیند طراحی به روش ضرایب پاره‌ای بار و مقاومت

مقدمه و کلیات

- طراحی مبتنی بر روش ضرایب پاره‌ای بار و مقاومت، شامل یک فرآیند تکراری به صورت زیر خواهد بود.



ارزیابی بر اساس معیارهای پذیرش به معنای ارضای موارد زیر است:

- در تمامی شرایط طراحی (به نحو تعریف شده در فصل دوم) و تحت تأثیر مقادیر کنش‌های مؤثر در ترازهای عملکردی و در سطوح اطمینان مورد نظر و با توجه به تقاضای ناشی از آن و با توجه به مقادیر ظرفیت متناسب سازه، هیچیک از حالات حدی محتمل مخدوش نگردد.

- در هر یک از شرایط طراحی و حالات حدی مورد نظر، کنش‌ها و بارهای ایجادکننده مقادیر تقاضای بحرانی کمیت‌های پاسخ سازه و اعضای آن، باید به صورت ارایه شده در این بخش ترکیب گردند.

- در مواردی که اعمال آثار کنش‌ها به صورت همزمان متصور یا ممکن یا محتمل نیستند، بارگذاری نیز فاقد حالات ترکیبی نامحتمل آثار چنین کنش‌هایی خواهد بود. از سوی دیگر، آثار احتمال وقوع همزمان کنش‌هایی که اعمال کسری از کمیت‌های مشخصه آنان به صورت همزمان محتمل به نظر می‌رسند، باید با توجه به دیدگاه‌های احتمال‌اندیشانه ملحوظ گردند.

- مقادیر بارها و ضرایب پاره‌ای و کلی آنها در ترکیب بارهای ذیربط به صورت مقادیر مشخصه یا مقادیر ارایه‌دهنده آثار کنش‌های مزبور در ترازهای ایمنی، خدمت‌رسانی یا طراحی، ارایه می‌گردند.

- مقادیر بارها و ضرایب بارها به منظور طراحی در حالات حدی متفاوت و به منظور ارضای ترازهای عملکردی متفاوت و سطوح متفاوت بارگذاری، هرگاه بر اساس داده‌های آماری حاصل گردند، باید کوشش گردد تا در تمامی حالات حدی محتمل، از قابلیت اطمینان تا حد ممکن همسانی با دیگر حالات بارگذاری برخوردار باشند. در این آیین‌نامه کوشش گردیده این امر از طریق اعمال ضرایب پاره‌ای بار منظور شود.

مقادیر بارهای طراحی در رابطه با حالات حدی و ترازهای عملکردی و سطح خطر

مقادیر طراحی عوامل

در صورتی که مقدار کمیت نماینده هریک از کنش‌های مؤثر (بارها) را با F نمایش دهیم، مقادیر طراحی کنش مربوطه با F_d نشان داده می‌شوند:

$$F_d = \gamma_f F_{rep} \quad , \quad F_{rep} = \psi F_k \quad (\text{پ-۶-ب-۸})$$

در روابط فوق، F_k نمایشگر مقدار مشخصه یک کنش دلخواه مؤثر و F_{rep} ، مقادیر نمایشگر آن کنش محسوب می‌گردند. γ_f نمایشگر ضریب پاره‌ای بار مزبور می‌باشد که امکان انحراف مقادیر واقعی را از مقادیر نمایشگر بار مورد نظر ارایه می‌دهد. به ψ در این آیین‌نامه مقادیر زیر را می‌توان حسب مورد تخصیص داد (بند ۳ فوق):

$$\psi = 1$$

$$\psi = \psi_0$$

$$\psi = \psi_1$$

$$\psi = \psi_2$$

مقادیر کمی آثار ناشی از کنش‌های مؤثر

(۱) در ارتباط با یک حالت بارگذاری خاص، مقادیر طراحی آثار ناشی از اعمال آن بار (تقاضای ناشی از اثر بار مربوط) در حالت کلی به صورت زیر قابل ارایه است:

$$E_d = \gamma_{sd} E \{ \gamma_{f,i} ; F_{rep,i} ; a_d \} \quad i \geq 1 \quad (\text{پ-۶-ب-۹})$$

که در آن، a_d عبارت است از مقادیر طراحی داده‌های هندسی به شرحی که خواهد آمد، γ_{sd} عبارت است از ضریب پاره‌ای مرتبط با عدم قطعیت در مقادیر مفروض کمیّت بار و مدل‌سازی آثار ناشی از آن‌ها.

(۲) در اغلب حالات، ساده‌سازی زیر را می‌توان به کار بست.

$$E_d = E \{ \gamma_{F,i} ; F_{rep,i} ; a_d \} \quad i \geq 1 \quad (\text{پ-۶-ب-۱۰})$$

که در آن

$$\gamma_{F,i} = \gamma_{sd} \times \gamma_{f,i} \quad (\text{پ-۶-ب-۱۱})$$

ضریب پاره‌ای $\gamma_{F,i}$ را می‌توان به هریک از کنش‌ها یا به صورت عمومی بر تمامی کنش‌ها در ترکیب بارها با مقادیر ذریبط بار مزبور، اعمال نمود.

(۳) هرگاه لازم باشد تمایزی بین آثار حالات کرانه پایینی و بالایی کنش‌های دایمی منظور گردد، می‌توان از دو ضریب پاره‌ای بار

بهره‌گیری نمود که با $\gamma_{G,inf}$ و $\gamma_{G,sup}$ نشان داده می‌شود.

(۴) در تحلیل غیرخطی (یعنی در حالت‌هایی که رابطه بین کنش‌ها و آثار ناشی از آنها - تقاضا - غیرخطی باشد)، قوانین ساده‌سازی شده زیر را می‌توان برای حالتی که اثر یکی از کنش‌ها مسلط است، به کار برد:

الف) هرگاه تقاضا با نرخ افزون‌تری از نرخ افزایش بار، افزایش یابد: در این حالت، ضریب پاره‌ای γ_F باید به مقدار نمایشگر آن کنش اعمال گردد.

ب) هرگاه نرخ افزایش تقاضا، از نرخ افزایش بار کمتر باشد، ضریب پاره‌ای γ_F باید به تقاضا اعمال گردد.

مقادیر طراحی مشخصه‌های مصالح و فرآورده‌های سازه‌ای

(۱) مقادیر طراحی X_d مربوط به خواص ماده یا مصالح ساختمانی در حالت کلی می‌تواند به طریق زیر نمایش داده شود:

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m} \quad (\text{پ-۶-ب-۱۲})$$

که در آن X_k مقدار مشخصه پارامتر مصالح یا خاصیت مواد سازه می‌باشد و

η عبارت است از مقدار میانگین ضریب تبدیل به منظور ملحوظداشتن آثار زیر:

- آثار حجم و مقیاس،

- آثار رطوبت و دما،

- پارامترهای مرتبط دیگر.

γ_m ضریب پاره‌ای مصالح یا خاصیت مواد به منظور ملحوظداشتن آثار زیر می‌باشد:

- امکان انحراف نامطلوب خواص مصالح از مقدار مشخصه،

- آثار تصادفی ضریب تبدیل η .

(۲) به عنوان گزینه‌ای دیگر، در حالات ذریبط، ضریب تبدیل η را می‌توان به‌طور تلویحی در مقادیر مشخصه مصالح در نظر

گرفت، یا با استفاده از ضریب γ_M به جای γ_m به صورتی که خواهد آمد، عمل نمود.

مقادیر طراحی مشخصات مصالح برای ترازهای عملکردی گوناگون و سطوح خطر و حالات حدی مرتبط را می‌توان از طریق

زیر به‌دست آورد:

- روابط تجربی با بهره‌گیری از خواص فیزیکی اندازه‌گیری شده از طریق آزمایش،

از طریق بررسی ترکیبات شیمیایی و خواص متالورژیکی مصالح،
 - برای مصالح دارای گواهینامه تولید و کنترل کیفیت، بر اساس مقادیر ارایه شده در استاندارد معتبر مربوط با ارایه مستندات
 و گواهینامه ذیربط.

مقادیر طراحی داده‌های هندسی

(۱) مقادیر طراحی داده‌های هندسی - مانند ابعاد اعضا که برای محاسبه آثار کنش‌ها و یا مقاومت به کار می‌رود - را می‌توان برابر
 با همان مقادیر اسمی آن کمیت‌ها در نظر گرفت. به عبارت دیگر:

$$a_d = a_{nom} \quad (\text{پ-۶-ب-۱۳})$$

(۲) هرگاه آثار انحراف از داده‌های هندسی (مانند برون‌محوری در اعمال بار یا عدم تطابق محل و موقعیت واقعی نصب
 تکیه‌گاه‌ها با نقشه‌های اجرایی) از نظر قابلیت اعتماد حایز اهمیت باشند، مقادیر طراحی داده‌های هندسی باید از طریق

$$a_d = a_{nom} \pm \Delta_a \quad (\text{پ-۶-ب-۱۴})$$

تعریف شوند که در آن:

Δ_a آثار زیر را در برمی‌گیرد:

- امکان انحراف نامطلوب از مقادیر مشخصه یا اسمی

- امکان بروز انحرافات تجمعی حاصل از بروز همزمان چندین انحراف هندسی

در حالتی که $a_{nom} = 0$ باشد، $a_d = \Delta_a$ مقادیر ناکاملی، نابه‌جایی و انحرافات مرتبط با رواداری‌ها را ارایه می‌دهد.

(۳) آثار انحرافات دیگر را باید با ضرایب پاره‌ای پوشش داد. این انحرافات در ارتباط با کنش‌های مؤثر از طریق ضریب γ_p و در
 ارتباط با ظرفیت (مقاومت) یا ضریب γ_M ملحوظ می‌گردند.

- مقادیر رواداری‌ها را می‌توان برای سازه‌های ساختمانی متعارف از مقررات ملی ایران - مبحث یازدهم اتخاذ نمود که در این
 کاربری از سازه‌های فضاکار صادق خواهند بود.

مقادیر رواداری‌های مربوط به انواع دیگر سازه‌های فضاکار در بخش ۳ این آیین‌نامه ارایه خواهد گردید.

ظرفیت‌های طراحی

(۱) مقاومت (ظرفیت) طراحی، R_d ، تحت تأثیر حالات حدی نهایی برای ترازهای عملکردی متفاوت و سطوح متفاوت بارگذاری
 محتمل متناسب با عمر مفید و دوره بازگشت، از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\{X_{d,i}; a_d\} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\{\eta \frac{X_{k,i}}{\gamma_{m,i}}; a_d\} \quad i \geq 1 \quad (\text{پ-۶-ب-۱۵})$$

که در آن: γ_{RD} ضریب پاره‌ای پوشش‌دهنده عدم قطعیت در مدلی است که مقاومت بر اساس آن تخمین زده می‌شود. علاوه بر آن، آثار ناکاملی‌ها و انحرافات و رواداری‌ها در صورتی که به‌طور صریح مدل‌سازی نشده باشند، از طریق این ضریب پاره‌ای منظور می‌شوند.

X_{di} عبارت است از مقدار طراحی مشخصه i ام مصالح

(۲) رابطه بالا را می‌توان به طریق زیر نیز ساده‌سازی نمود:

$$\zeta_d = R \left\{ \eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{M,i}} ; a_d \right\} \quad i \geq 1 \quad (\text{پ-۶-ب-۱۶})$$

که در آن

$$\gamma_{M,i} = \gamma_{Rd} \times \gamma_{m,i} \quad (\text{پ-۶-ب-۱۷})$$

یادآوری: ضریب η_i را می‌توان در $\gamma_{M,i}$ ملحوظ نمود.

(۳) به عنوان گزینه‌ای دیگر، مقاومت طراحی (ظرفیت طراحی) را می‌توان مستقیماً از مقادیر مشخصه مصالح بدون تعیین صریح مقادیر کمیته‌های طراحی برای متغیرهای منفرد اصلی با بهره‌گیری از رابطه زیر به دست آورد:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (\text{پ-۶-ب-۱۸})$$

این رابطه در مورد سازه‌های متشکل از صرفاً یک نوع مصالح (مثلاً فولاد) و روش‌های طراحی به کمک آزمایش، قابل انطباق است.

(۴) باز هم به عنوان گزینه دیگر، برای سازه‌ها و اعضای سازه‌ای تحلیل‌شده به روش غیرخطی که از بیش از یک نوع مصالح در آن استفاده شده باشد که توأم با یکدیگر به کار گرفته می‌شوند، یا در حالتی که خواص خاک در مقاومت طراحی ملحوظ شده است، رابطه زیر برای تعیین مقاومت طراحی به کار گرفته می‌شود:

$$\zeta_d = \frac{1}{\gamma_M} R \left\{ \eta_I X_{k,I} ; \eta_i X_{k,i} (i > 1) \frac{\gamma_{m,I}}{\gamma_{m,i}} ; a_d \right\} \quad (\text{پ-۶-ب-۱۹})$$

در برخی از حالات، مقاومت طراحی را می‌توان با کاربرد مستقیم ضریب پاره‌ای γ برای خواص مصالح مورد استفاده قرار داد.

حالات حدی نهایی

کلیات

(۱) حالات حدی نهایی باید به روش زیر مورد ارزیابی قرار داده شود:

(الف) - تعادل:

از بین رفتن تعادل استاتیکی سازه یا بخشی از سازه در حالتی که به صورت جسم صلب در نظر گرفته شود؛ در صورتی که:

- تغییرات جزئی مقادیر توزیع فضایی بارها از یک منبع واحد حایز اهمیت باشند،

- مقاومت مصالح ساختمانی یا خاک طراحی را کنترل نمایند.

(ب) مقاومت:

خرابی داخلی یا تغییرشکل زیاده از حد سازه یا اعضای سازه‌ای و شالوده‌ها و پی و پایه‌ها، هرگاه مقاومت مصالح سازه یا خاک طرح را کنترل نماید.

پ) گسیختگی یا تغییرشکل زیاده از حد خاک (نشست، فرونشست، روانگرایی، گسترش جانبی)، هرگاه مقاومت خاک یا سنگ در تأمین مقاومت مجموعه سازه حایز اهمیت خاص باشد.

ت) خرابی و شکست ناشی از خستگی سازه یا عضو سازه‌ای.

۲) مقادیر طراحی کنش‌ها باید مطابق با این پیوست اختیار گردند.

ارزیابی معیارهای پذیرش برای تعادل استاتیکی و مقاومت

۱) با در نظر گرفتن حالت حدی تعادل استاتیکی سازه، معیار پذیرش عبارت است از:

$$E_{d,dst} < E_{d,stab} \quad (\text{پ-۶-ب-۲۰})$$

که در آن $E_{d,dst}$ عبارت است از مقدار طراحی اثر کنش ناپایدارکننده

و $E_{d,stab}$ عبارت است از مقدار طراحی اثر کنش پایدارکننده.

۲) در موارد لازم، رابطه‌های کنترل حالت تعادل استاتیکی را می‌توان با ملحوظداشتن آثار پدیده‌های دیگر تکمیل نمود، به عنوان مثال: با اعمال ضریب اصطکاک بین اجسام صلب و نظایر آن.

۳) هرگاه حالت حدی مرتبط با گسیختگی (پارگی و شکست) یا تغییرشکل متزاید یک مقطع، عضو یا اتصال مورد نظر باشد، باید:

$$E_d \leq R_d \quad (\text{پ-۶-ب-۲۱})$$

که در آن: E_d عبارت است از مقدار طراحی ناشی از عواملی مانند تقاضای نیروهای داخلی، لنگرها یا بردار نمایشگر چندین بار داخلی یا لنگر و R_d نمایشگر مقادیر طراحی مقاومت مربوط می‌باشند.

۶. ترکیب بارها

مقدمه و کلیات

۱) برای هر حالت بار بحرانی، مقادیر طراحی آثار ناشی از کنش‌ها (E_d) باید با ترکیب مقادیر کنش‌های متفاوتی که احتمال وقوع و بروز و اعمال همزمان داشته باشند، تعیین گردند.

۲) هر ترکیب بار باید شامل یک عامل متغیر اصلی یا یک عامل تصادفی باشد.

۳) ترکیب بارها باید به شرح مندرج در بندهای زیر صورت گیرد.

۴) هرگاه نتایج ارزیابی به تغییرات بزرگی یک عامل دائمی (مستمر) و نحوه توزیع فضایی آن وابسته باشد، حالات ناخوشایند و خوشایند این بارها باید ملحوظ گردند.

(۵) هرگاه چند اثر ناشی از یک کنش دارای اثر متقابل بر یکدیگر نباشند، ضرایب پاره‌ای مربوط به هر یک از مؤلفه‌های خوشایند را می‌توان کاهش داد.

(۶) تغییر شکل‌های اعمالی را در موارد حایز اهمیت باید ملحوظ داشت.

ترکیب بارها برای شرایط طراحی مستمر یا گذرا (ترکیب بارهای اساسی)

فرم کلی آثار ناشی از عوامل و بارها به صورت زیر می‌باشد.

$$E_d = \gamma_{sd} E \{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad (\text{پ-۶-ب-۲۲})$$

$$j \geq 1; i > 1$$

(۱) ترکیب آثار ناشی از بارهایی که باید ملحوظ شوند، باید بر اساس مقادیر طراحی عامل متغیر اصلی و مقادیر ترکیبی طراحی سایر عوامل متغیر تعیین گردد.

$$E_d = E \{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad (\text{پ-۶-ب-۲۳})$$

$$j \geq 1; i > 1$$

ترکیب بارهای نشان داده شده در آکولادهای فوق را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{پ-۶-ب-۲۴})$$

یا به بیان دیگر، برای حالات حدی مقاومتی هندسی، ناخوشایندترین حالت حاصل از دو عبارت زیر را می‌توان به کار گرفت:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} \psi_{0,i} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{پ-۶-ب-۲۵})$$

$$\sum_{j \geq 1} \zeta_j \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{پ-۶-ب-۲۶})$$

”+“ نمایشگر ترکیب کنش‌هاست.

Σ نمایشگر اثر توأم یا ترکیبی بارها و

ζ_j عبارت است از ضریب کاهش برای کنش‌های دائمی G در ناخوشایندترین حالت.

(۲) در حالتی که رابطه بین کنش‌ها و آثار آنها غیرخطی است، روابط بالا را باید مستقیماً اعمال نمود که متناسب با افزایش نسبی آثار کنش‌ها، در مقایسه با افزایش بزرگی مقادیر این کنش‌ها، باید اعمال گردند.

ترکیب بارها برای شرایط طراحی تصادفی

(۱) فرم عمومی آثار ناشی از کنش‌های مزبور باید به صورت زیر در نظر گرفته شود:

$$E_d = E \{ G_{k,j}; P; A_d; (\psi_{1,1} \text{ یا } \psi_{2,1}) Q_{k,1}; \psi_{2,i}; Q_{k,i} \} \quad (\text{پ-۶-ب-۲۷})$$

$$j \geq 1; i > 1$$

(۲) ترکیب کنش‌های مندرج در حد فاصل آکولادها را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } A_d \text{ "+" } (\psi_{1,1} \text{ و } \psi_{2,1}) Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (\text{پ-۶-ب-۲۸})$$

انتخاب بین $\psi_{1,1} Q_{k,1}$ یا $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ باید با

در نظر گرفتن شرایط طراحی تصادفی مرتبط صورت گیرد. بنابراین در شرایط طراحی تصادفی تحت آثار ناشی از ضربه، آتش سوزی یا ضرایب پاره‌ای مرتبط با شرایط ایمنی جانی ناشی از وقوع سانحه تصادفی، این کمیت متناسباً اختیار می‌گردد.

ترکیب بارها برای شرایط طراحی لرزه‌ای

(۱) صورت عمومی آثار ناشی از بارها باید به صورت زیر در نظر گرفته شود:

$$E_d = E \{ G_{k,j} ; P ; A_{Ed} ; \psi_{2,i} Q_{k,i} \} \quad (\text{پ-۶-ب-۲۹})$$

$$j \geq 1 ; i \geq 1$$

(۲) ترکیب بارهای داخل آکولاد را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } A_{Ed} \text{ "+" } \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (\text{پ-۶-ب-۳۰})$$

ضرایب پاره‌ای بار و ترکیب بارها

مقادیر ضرایب γ و \square برای کنش‌های مؤثر باید مطابق مراجع معتبر از جمله آیین‌نامه اروپا، EN1991 اختیار گردد.

ضرایب پاره‌ای مصالح و فرآورده‌های ساختمانی

مقادیر ضرایب پاره‌ای مقاومت و خواص ضرایب مصالح و مواد ساختمانی باید از مراجع معتبر از جمله آیین‌نامه‌های اروپا

EN1991 تا EN1999 اختیار گردند.

پیوست ۷

اصول و شیوه‌های اجرای سازه‌های فضاکار

۷-۱- مفاهیم عمومی

در این آیین‌نامه حداقل استانداردهای کیفی عملیات اجرایی ساخت و نصب ارایه گردیده‌اند تا اطمینان حاصل شود که مفروضات طراحی براساس این آیین‌نامه ارضا گردیده و سطح ایمنی مورد نظر تأمین گردیده است. متناسب با نوع عامل و کیفیت مورد انتظار رفتار سازه، ممکن است سطوح متفاوت دقت و کیفیت در عملیات ساخت و نصب مورد نیاز باشد. این موارد در بخش سوم این آیین‌نامه به تفصیل ارایه خواهند شد.

۷-۲- ملزومات ساخت و نصب

هرگونه نیاز ویژه یا تکمیلی مربوط به ساخت و نصب برای سازه خاص باید در مشخصات فنی پروژه به روشنی تعیین گردد. مشروط بر آن‌که مصالح فولادی، مصالح جوش‌کاری و پیچ‌ها با مشخصات تعیین شده در بخش ۲ این آیین‌نامه مطابقت داشته باشند، کیفیت عملیات اجرایی ساخت و نصب باید از مشخصات ارایه شده در بخش ۳ تبعیت نماید.

۷-۳- مشخصات فنی اجرا

به جز مواردی که در این آیین‌نامه به صراحت مورد اشاره قرار داده شده باشد، موارد مندرج در مقررات ملی ساختمانی ایران مبحث یازدهم، استاندارد جوش ایران، استاندارد پیچ‌های کشور یا در موارد نقص یا کمبود، استانداردهای معتبر جاری خواهند بود. مشخصات فنی ساخت و نصب پروژه باید توسط طراح، تهیه یا اختیار گردد که طی آن تمامی جزئیات و مشخصات مصالح، ساخت و نصب به منظور حصول اطمینان از سازگاری گام‌های اجرایی با مفروضات طراحی هر سازه فضاکار ارایه شده باشد. مشخصات فنی پروژه باید جزئیات کافی در مورد ملزومات ویژه زیر را شامل شود:

- ساخت

- نصب

- بازرسی فنی و کنترل کیفیت

- پذیرش

مشخصات فنی می‌تواند مکمل ضوابط استانداردهای مرجع باشد ولی نباید از حداقل ملزومات تعیین شده در این آیین‌نامه عدول به عمل آید.

مشخصات فنی مصوب پروژه نباید بدون موافقت طراح و مرجع مسؤول کنترل و بازرسی فنی طرح و یا دستگاه مسؤول نظارت بر حسن انجام عملیات اجرایی تغییر یابد.

لازم است مشخصات فنی مصالح، ساخت، بافت و نصب سازه فضاکار برای هر پروژه به روشنی ارایه گردد. در موارد عدم تهیه و تدوین مشخصات فنی پروژه و برای حالات معمول، ملزومات این آیین‌نامه جاری خواهند بود.

۴-۷- محدودیت‌ها در کاربری مصالح و به‌کارگیری شیوه‌های ساخت

بسته به نوع کاربری سازه و کنش‌ها و عوامل مؤثر، محدودیت‌های کاربرد انواع مصالح و شیوه‌های برش‌کاری، سوراخ‌کاری، آماده‌سازی و اصلاحات سطحی، اصلاحات کناره‌ها، لبه‌ها و زدگی‌ها، فرم‌دادن، صاف‌کردن، رنگ‌کاری و گالوانیزه‌نمودن باید مطابق بخش سوم این آیین‌نامه مراعات گردند.

۵-۷- اتصالات پیچی

مشخصه‌های سوراخ‌ها، سوراخ‌کاری، فاصله آزاد سوراخ‌ها، مشخصات فنی پیچ‌ها و مهره‌ها و واشرها، شیوه سفت‌کردن پیچ‌ها و همچنین پیچ‌های اصطکاکی و غیرلغزشی و نحوه اجرای اتصال پیچی در سازه‌های فضاکار در بخش سوم این آیین‌نامه ارایه گردیده است.

۶-۷- اتصالات جوشی

جوش‌کاری و مونتاژ قطعات جوش‌شده باید به‌نحوی صورت گیرد که ابعاد نهایی در محدوده رواداری‌های قابل‌پذیرش در این آیین‌نامه باشند.

مشخصات فنی پروژه باید جزئیات فرایند جوش‌کاری، سطح کنترل کیفیت، نحوه اعمال بازرسی فنی و آزمایش‌های کنترل کیفیت را شامل گردد. بسته به روش ساخت تعیین‌شده در مشخصات فنی و شیوه اتخاذشده برای ساخت به‌صورت درجا یا پیش‌ساخته، امکان دارد جوش‌کاری در کارخانه یا در کارگاه یا ترکیبی از کارخانه و کارگاه صورت گیرد.

۷-۷- مصالح سخت‌شده

در مورد کاربرد مصالح سخت‌شده باید مطابق با شرایط محیطی و عوامل مؤثر، دقت‌های ویژه به‌کار برده شود و در مواردی که کاربرد این مصالح دارای محدودیت‌هایی است، این امر توسط طراح در مشخصات فنی ذکر گردد.

۸-۷- رواداری‌ها

۱-۸-۷- طبقه‌بندی رواداری‌ها

رواداری‌های ساخت و نصب سازه‌های فضاکار در انواع "معمول"، "ویژه" و "موردی خاص" طبقه‌بندی می‌گردند. رواداری‌های معمول، محدودیت‌های اساسی لازم در ارتباط با انحرافات از ابعاد را به‌شرح زیر در بر می‌گیرند. بنابراین، رواداری‌های معمول عبارت‌اند از حدود مینا در ارتباط با انحرافات ابعادی به‌منظور:

- ارضای مفروضات طراحی برای عوامل استاتیکی،

- تعریف معیارهای پذیرش رواداری‌ها برای سازه‌های فضاکار در موارد عدم وجود ملزومات دیگر.

رواداری‌های ویژه، مقادیر محدودتری را ارایه می‌نمایند که برای ارضای مفروضات طراحی ضروری تلقی می‌گردند و در موارد زیر حاکم خواهند بود:

- در مورد سازه‌هایی که رواداری محدودتری از سازه‌های معمولی را طلب می‌نمایند،
- در مورد حالات بارگذاری مسلط ناشی از خستگی.

رواداری‌های موردی خاص بر مقادیر حتی محدودتری از رواداری‌ها دلالت می‌نمایند که به منظور ارضای ملزومات عملکردی سازه فضاکار خاص یا اجزای خاصی از سازه فضاکار در ارتباط با موارد زیر، مورد نیاز باشند:

- مسیرهای جرثقیل‌های بالاسری یا بالابرها،
- معیارهای دیگر از قبیل فواصل آزاد لازم بین اجزای سازه‌ها و یا اجزای متحرک،
- امتداد نماهای بیرونی سازه.

سازه‌های فضاکار در معرض دید، علاوه بر رواداری‌های ساخت و نصب حایز اهمیت از دیدگاه سازه‌ای، باید با دقت هرچه تمام‌تر و با رواداری‌های محدودتری ساخته شوند که در بخش سوم این آیین‌نامه به آن اشاره شده است (رواداری‌های خاص).

۷-۸-۲- رواداری‌ها در مراحل تولید، ساخت و نصب

رواداری‌ها را همچنین می‌توان در چارچوب رواداری‌های تولید، ساخت و نصب طبقه‌بندی بررسی نمود.

رواداری‌های تولید مربوط به تولیدات در مقیاس وسیع پروفیل‌های مورد استفاده، پیچ‌ها و دیگر اجزای مورد نیاز در ساخت و نصب قطعات سازه فضاکار می‌باشند که باید ملزومات کیفی و کمی این تولیدات را ارضا نمایند.

رواداری‌های ساخت مربوط به قطعات پیش‌ساخته سازه فضاکار در کارخانه است.

در صورت رعایت رواداری‌های ساخت در مورد اعضا و اجزای سازه‌های فضاکار با توجه به میزان انحنای یا ناکاملی اولیه، اختلاف طول قطعات و در سازه‌های مشمول این آیین‌نامه درحد و حدودی که در این آیین‌نامه مشخص می‌گردند، نیازی به رعایت ملاحظات ویژه در تحلیل و طراحی نخواهد بود.

در حالاتی که رواداری‌های ساخت با مقادیر تعیین شده در این آیین‌نامه متفاوت باشند، باید اثرات مربوط در تحلیل و طراحی عضو، جزء سازه‌ای و مجموعه سازه ملحوظ گردد.

رواداری‌های نصب رواداری‌های نصب مربوط به بافت و نصب قطعات سازه فضاکار به‌طور عمده در محل پروژه می‌باشند. این نوع از رواداری‌ها اغلب متأثر از موقعیت محورهای پیاده‌شده تکیه‌گاه‌ها و شالوده‌ها بوده و لازم است اثر تجمعی آنها با دیدگاه احتمال‌اندیشانه و با توجه به ملزومات این آیین‌نامه مراعات گردد.

رواداری‌های ساخت و نصب باید در مشخصات فنی پروژه و نقشه‌ها مشخص گردند. در بخش سوم این آیین‌نامه جزئیات کمی و کیفی مربوط به رواداری‌های تولید، ساخت، بافت و نصب در تمامی حالات معمول، ویژه و موردی خاص برای انواع سازه‌های فضاکار ارایه خواهند شد.

۷-۹- مدیریت کیفیت

شیوه‌های اعمال مدیریت کیفیت فراگیر در تمامی مراحل تکوین پروژه، از مطالعات توجیهی و امکان‌سنجی تا تحویل قطعی و بهره‌برداری و نگهداری ویژه پروژه‌های متشکل از سازه‌های فضاکار در بخش ۳ این آیین‌نامه ارایه خواهند شد.

۷-۹-۱- بازرسی فنی و آزمایش‌های کنترل کیفیت

سطح بازرسی فنی و آزمایش‌های کنترل کیفیت برحسب ویژگی‌های پروژه، درجه اهمیت، نوع، ریخت و ماهیت سیستم سازه، مصالح و شیوه ساخت و نصب باید در مشخصات فنی پروژه ذکر گردد.

معیارهای پذیرش خواص مصالح، میزان رواداری‌ها و ملزومات کیفی تولیدات مورد نیاز جهت ساخت قطعات، اجزا، پیوندها، اتصالات، زیرمجموعه‌ها و مجموعه سازه فضاکار و همچنین رهنمودهای لازم در زمینه شیوه‌های بازرسی فنی و کنترل کیفیت ساخت، بافت و نصب اعضا و اجزای سازه‌های فضاکار در بخش سوم این آیین‌نامه ارایه خواهند شد.

۷-۹-۲- تضمین کیفیت

سازنده باید برنامه تضمین کیفیت کارایی را تدوین یا از برنامه ارایه‌شده در بخش ۳ این آیین‌نامه پیروی نماید تا اطمینان حاصل گردد که ملزومات آیین‌نامه حاضر و مشخصات فنی پروژه رعایت خواهد گردید. این برنامه باید قبل از شروع به کار به تأیید کارفرما رسیده باشد. سازنده باید توانایی مدیریت، تأمین منابع نیروی انسانی متخصص و کارگران ماهر و ساده و ماشین‌آلات و تجهیزات لازم را برای انجام توفیق‌آمیز کار در هماهنگی با ویژگی‌های کمی و کیفی پروژه، دارا باشد.

توصیه می‌شود کارفرما با بهره‌گیری از متخصصان مجرب، کنترل و بازرسی فنی مستقلی در تمامی مراحل پروژه از مطالعات توجیهی و امکان‌سنجی تا تحویل قطعی و در پی آن بهره‌برداری و نگهداری اعمال نماید.

کنترل و تضمین کیفیت باید به روش‌های آماری از روش‌های مخرب و غیرمخرب در مورد مصالح، رواداری‌ها، اعوجاج‌ها اعمال گردد. همچنین کیفیت آماده‌سازی سطوح جهت رنگ‌کاری و کیفیت و کمی رنگ‌کاری با لایه‌های محافظ باید به روشنی تبیین گردد.

برنامه تضمین کیفیت به‌منظور حذف (یا کاهش احتمال بروز) هرگونه خطای حایز اهمیت در فرایندهای طراحی، ساخت، بافت، نصب و بهره‌برداری سازه فضاکار تنظیم می‌گردد. کنترل کیفیت مستقل نمایندگان کارفرما می‌تواند به صورت تصادفی یا مستمر بسته به شرایط و کیفیت و اهمیت کار تدوین گردد. برنامه تضمین کیفیت نباید منجر به توقف یا تعلیق کار گردد مگر آن‌که نقیصه‌ای که نیاز به رفع آن باشد، مشاهده گردد. در فرایند کنترل کیفیت، رد یا قبول قطعات و اقلام کار و فعالیت‌های کنترل‌شده براساس معیارهای این آیین‌نامه و مشخصات فنی پروژه صورت خواهد گرفت.

نارسایی‌های عملیاتی اجرایی باید بلافاصله پس از کشف از سوی بازرسان فنی اعلام گردد.

نسخه‌ای از کلیه گزارش‌های تهیه‌شده توسط بازرسی فنی باید در اختیار سازنده و نصاب قرار داده شود و اقدامات اصلاحی برای

قطعات معیوب یا اقدامات پیش‌گیرانه در زمینه رفع نارسایی در منشأ برای تولیدات بعدی و اصلاح روند ادامه کار صورت گیرد.

۷-۱۰ - اصول ایمنی اجرا

مراحل بافت و نصب سازه فضاکار باید به صورت گام به گام در مشخصات فنی پروژه قید گردد و در عمل نیز رعایت شود؛ به نحوی که در هر زمان، هر بخش بافته یا نصب شده برای بارها و عوامل محتمل با سطح اطمینان از پیش تعیین شده پایدار باشد. جزییات اصول ایمنی اجرا، ویژه ساخت، بافت و نصب سازه‌های فضاکار، در بخش سوم این آیین‌نامه ارائه خواهد گردید.

۷-۱۱ - ساخت، بافت و نصب سازه‌های فضا کار شبکه‌ای فولادی

۷-۱۱-۱- درک مبانی و مفاهیم اصلی ساخت و نصب سازه‌های فضاکار مستلزم شناخت کامل روش‌ها و فرایندها و گام-های ساخت، بافت و نصب می‌باشد. نقشه‌های طراحی معماری، سازه و تأسیسات سازه فضاکار همراه با مشخصات فنی ساخت انتقال دهنده ایده‌های طراحی به عوامل ساخت جهت جامه عمل پوشاندن به آنها خواهد بود. در مورد نحوه بافت و نصب و شیوه اجرا باید در مرحله طراحی سازه فضاکار اتخاذ تصمیم گردد.

۷-۱۱-۲- با استفاده از مدارک طراحی، نقشه‌های جزییات برای ساخت قطعات سازه فضاکار (یا نقشه‌های ساخت کارخانه) تهیه می‌گردند که باید جهت تأیید به مهندسین طراح ارائه گردند.

۷-۱۱-۳- در یک پروژه وسیع، تعداد زیادی از فعالیت‌های اجرایی و مراحل کار را می‌توان به طور همزمان انجام داد. در سیستم‌های پیش‌ساخته، اجزای ساخته شده در کارخانه طبق برنامه زمان‌بندی شده به تدریج از کارخانه به کارگاه حمل می‌گردند. همچنین مصالح مورد نیاز نیز طبق جدول زمان‌بندی برحسب نیاز با توجه به میزان ذخیره متناسب با شرایط و حجم پروژه، تهیه شده و به کارخانه حمل می‌گردند. به‌طور معمول نقشه‌های جزییات اجرایی نیز، برحسب نیاز و توانایی‌های ساخت و تولید در کارخانه، ارائه می‌گردند. بنابراین سازنده و نصاب سازه فولادی باید برنامه تفصیلی برای حصول اطمینان از آن که کلیه مراحل و عملیات اجرایی مطابق با برنامه زمان‌بندی و در هماهنگی با روش‌های اجرایی از پیش تعیین شده، به پیش خواهد رفت، تهیه نموده و برای واقعیت بخشیدن به آن از هیچ کوششی فروگذار ننمایند.

۷-۱۱-۴- کلیه اعضای پیش‌ساخته باید در کارخانه با شماره‌ای مشخص شده و این شماره یا با رنگ و یا با علامت حک شده روی قطعات منعکس گردیده و این قطعات پس از حمل به کارگاه در محل مناسبی مطابق مشخصات فنی پروژه انبار شوند.

۷-۱۱-۵- سازنده باید برنامه اجرایی فعالیت‌ها را برای ارضای ملزومات پیمان ارائه دهد.

۷-۱۲ - شناسنامه مصالح و قطعات و اعضا

مصالح هر پروژه مطابق مشخصات فنی طرح سفارش داده می‌شود و باید همراه با گواهی کنترل کیفیت و مرجحاً با حضور و تأیید نماینده بازرسی فنی پروژه حمل گردد. مصالح و تولیدات مزبور باید پیش از حمل توسط تأمین‌کننده آن‌ها علامت‌گذاری شود. در مواردی که گواهی‌نامه‌های کنترل کیفیت و با چنین علامت‌گذاری موجود نباشد، لازم است آزمایش‌های کنترل کیفیت مندرج در مشخصات فنی پروژه برای شناخت مصالح به عمل آید و متعاقباً مصالح براساس خواص دسته‌بندی و توسط سازنده براساس یک سیستم تبیین شده علامت‌گذاری شوند. تا مرحله نصب هر قطعه در محل تعیین شده در نقشه‌های نصب، باید علامت ویژه قطعه مزبور که از طرف سازنده بر آن حک شده، به خوبی قابل رؤیت باشد.

شیوه و نحوه آماده‌سازی سطوح قبل از رنگ‌کاری باید در مشخصات فنی ذکر شده و برنامه بازرسی سطوح آماده‌سازی شده تعیین گردیده باشد.

اعضای سازه فضاکار پس از تکمیل عملیات کارخانه‌ای باید شماره‌گذاری و علامت‌گذاری (کدگذاری) شده در محل مناسب انبار یا به محل احداث پروژه حمل گردند. پیوندها، اجزا و ادوات اتصال، هر یک باید به‌طور جداگانه در بسته‌بندی مجزا تحویل گردند.

۷-۱۳- حمل و تحویل قطعات ساخته‌شده

ترتیب و برنامه حمل اعضا و قطعات و اجزا و پیوندها و ادوات سازه فضاکار، مطابق برنامه ساخت، بافت و نصب به محل ارسال می‌گردند، به‌نحوی که در زمانی که به هر یک نیاز باشد، در محل حاضر باشند. در صورت آن که قطعات در حین حمل و انبار صدمه دیده باشند، باید موارد به مسؤؤلان ساخت و نصب و نظارت اطلاع داده شود و (قبل از نصب) در صورت امکان با نظر مسؤؤلان دستگاه نظارت رفع نقص گردد یا قطعات صدمه دیده جایگزین گردند.

۷-۱۴- نصب

۷-۱۴-۱- روش نصب

روش نصب با در نظر گرفتن جنبه‌های ایمنی و اقتصادی اختیار می‌گردد.

۷-۱۴-۲- جزییات اتصالات و نحوه اجرای اتصالات

سازنده باید جزییات اتصالات و نصب کارگاهی را براساس نقشه‌های طراحی و اسناد مناقصه تهیه نماید. تمامی تکیه‌گاه‌ها و پایه‌ها و کابل‌های نگهدارنده و تأمین‌کننده پایداری موقت سازه در حین بافت و نصب باید طراحی و در مشخصات فنی با ذکر موقعیت مشخص شوند و باید قابلیت تأمین پایداری سازه نیمه‌تمام را در تمامی مراحل در مقابل بارهای اجرایی و جانبی و بارهای اتفاقی دارا باشند.

در حین ساخت برای رعایت اصول ایمنی، سازنده باید مکان و محل مناسب برای کار و همچنین مسیر عبور ایمن، پوشش‌های کف‌های آدرو، نرده‌های حفاظ، کمربند و کلاه و کفش و گوشی ایمنی را مطابق بخش ۳ این آیین‌نامه تأمین نماید.

۷-۱۴-۳- تحویل و انبارنمودن مصالح، تولیدات، اعضا و اجزا

سازنده، مسؤؤل تحویل گرفتن و انبارنمودن اعضا و قطعات پیش‌ساخته در محل مناسبی است که موجب زوال و اضمحلال مصالح و واردشدن صدمه به اعضا نگردد.

در مورد اعضا و قطعات سازه فضاکار در معرض دید، باید دقت ویژه‌ای در حمل، تخلیه، انبارنمودن و نصب این قطعات مبذول داشت تا از اعمال هرگونه صدمه بر اعضا و اجزا و رنگ‌کاری آن‌ها ممانعت به عمل آید. اعضا و اجزای سازه فضاکار و به‌ویژه آن دسته از اعضا که در معرض دید قرار خواهند گرفت، باید فاقد نارسایی‌هایی از قبیل خم‌شدگی، پیچ‌خوردگی و آثار اعمال ضربه باشند.

۷-۱۵ - حفاظت در برابر خوردگی

حفاظت اعضا، گره‌ها، پیوندها و اتصالات و ادوات اتصال باید براساس مشخصات فنی طرح با توجه به شرایط محیطی صورت گیرد.

شیوه حفاظت ادوات اتصال در مقابل خوردگی متناسب با میزان خوردگی در شرایط محیطی متفاوت اختیار می‌گردد. در مراحل آماده‌سازی با حمام اسیدی یا گالوانیزه نمودن پیچ‌ها باید تدابیر لازم را برای ممانعت از بروز پدیده تردشکنی ناشی از نفوذ هیدروژن پیش‌بینی نمود.

در مراحل نگهداری و بازدیدهای فنی لازم است شناسنامه‌فنی مربوط به آثار خوردگی برای سازه فضاکار فولادی تکمیل و علایم هرگونه خوردگی گزارش گردد. نقاط حایز اهمیت در بازرسی فنی از این دیدگاه عبارت‌اند از:

- نقاطی که کار سرد در مورد آنها صورت گرفته است،
- مراکز تمرکز تنش و نقاط حاد،
- در مواضع محتمل بروز نارسایی‌های ناشی از جوش کاری،
- مواضع تحت تنش تعلیقی کششی در شرایط در معرض خوردگی،
- در مواضع سوراخ کاری به روش پانچ و برش کاری از طریق گیوتین،
- در اعضا، اجزا، اتصالات و پیوندهایی که تحت تأثیر خستگی به‌ویژه در محیط خورنده قرار دارند.

پیوست ۸

اصول مستندسازی

۸-۱- نقشه‌های طراحی و مشخصات فنی پروژه

نقشه‌های طراحی باید به نحو گویایی ارائه‌دهنده اطلاعات لازم و کافی برای ساخت، بافت و نصب سازه فضاکار باشند و باید شامل اطلاعات لازم در مورد نوع و کیفیت مصالح، ابعاد کامل و موقعیت هر یک از اعضا و اجزای سازه باشند و کلیه اطلاعات لازم از دیدگاه هندسی را برای پروژه نشان دهند. همچنین در صورتی که پیش‌خیز در نظر گرفته شده باشد، این موارد نیز باید مشخص گردد. تمامی نقشه‌های طراحی، مشخصات فنی و تجدیدنظرهای مربوط باید دارای تاریخ باشند. همچنین باید ملزومات رنگ‌کاری از قبیل آماده‌سازی سطوح، مشخصات رنگ، ضخامت رنگ یا لایه گالوانیزه یا هرگونه سیستم حفاظتی دیگر، همراه با دستورالعمل کام‌به‌گام فعالیت‌های مربوط، در مشخصات فنی ارائه‌شده باشد. تعداد، ابعاد و موقعیت استقرار نهایی هر قطعه سازه فضاکار باید در نقشه‌های طراحی سازه نشان داده شود. نقشه‌های طراحی باید در مقیاس مناسب ترسیم گردند. جزییات پیچیده باید به مقیاسی ترسیم شوند که جهت انتقال اطلاعات لازم کفایت نماید.

۸-۲- نقشه‌های جزییات اجرایی ساخت کارخانه‌ای

نقشه‌های جزییات اجرایی ساخت وسیله القا و انتقال نظرات مهندس طراح به کارخانه سازنده می‌باشد. این نقشه‌ها باید گویای شناخت کاملی از قابلیت‌ها و توانایی‌های موجود در کارخانه سازنده باشد. نقشه‌کش طراح با استفاده از نقشه‌های ارائه‌شده توسط طراحان و با در اختیار داشتن مشخصات فنی طرح و مصالح و با شناخت از روش‌ها و امکانات ساخت در کارخانه، اقدام به تهیه نقشه‌های جزییات اجرایی ساخت می‌نماید. این نقشه‌ها، پس از تهیه، باید به طور دقیق مورد کنترل و بررسی قرار داده شوند و پس از اعمال اصلاحات نهایی و اخذ تأییدیه مهندسان طراح، جهت ساخت به کارخانه ابلاغ گردند. سازنده باید نقشه‌های ساخت کارخانه‌ای قطعات پیش‌ساخته، نقشه‌های ساخت و نصب قطعات، زیرمجموعه‌ها و مجموعه سازه فضاکار را تهیه نماید. تهیه نقشه‌های جزییات اجرایی ساخت قطعات در کارخانه امری الزامی در فرایند ساخت سازه‌های فولادی فضاکار پیش‌ساخته به‌شماره می‌رود. این نقشه‌ها توسط بازرسان فنی نیز به منظور کنترل کیفیت ساخت قطعات فولادی به کار گرفته می‌شوند. دو نوع نقشه جزییات مورد نظر می‌باشند: نقشه‌های جزییات اجرایی ساخت کارخانه‌ای و نقشه‌های جزییات بافت و نصب و عملیات اجرایی کارگاهی.

۸-۳- نقشه‌های جزییات جانمایی، بافت، نصب و اجرای کارگاهی

نقشه‌های نصب و اجرای کارگاهی توسط نصاب سازه فولادی در کارگاه مورد استفاده قرار داده می‌شود و شامل نقشه‌های نشان‌دهنده موقعیت قطعات و اعضای سازه فضاکار در مجموعه ساختمان و همچنین جزییات نصب و اتصال کارگاهی آن‌ها می‌باشند. تمامی اعضای پیش‌ساخته در کارخانه باید با شماره‌ای مشخص شده و این شماره (کد) یا با رنگ و یا با علامت حک‌شده، روی قطعات منعکس گردیده و این قطعات پس از حمل به کارگاه در محل مناسبی مطابق مشخصات فنی پروژه انبار شوند.

۴-۸- نقشه‌های وضعیت اجراشده یا نقشه‌های چون ساخت

در عین حال، در صورتی که تغییراتی در حین اجرا به دلایل قابل توجیهی از نظر فنی و اقتصادی اعمال شود، نقشه‌های مذکور در بندهای ۱-۸، ۲-۸ و ۳-۸ باید اصلاح گردند، به گونه‌ای که نقشه‌های نهایی شامل تمامی اطلاعات پروژه، به صورت عملاً / اجراشده، باشند. این نقشه‌ها را نقشه‌های وضعیت اجراشده یا نقشه‌های چون ساخت می‌نامند که برای کارفرما و مسؤولین نگهداری و بهره‌برداری از سازه حایز اهمیت ویژه‌ای است و این امکان را می‌دهد که در صورتی که در مراحل در آتیه مطالعاتی در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری سازه ضرورت یابد یا تغییراتی یا اصلاحاتی در سازه مورد نیاز باشد، نقشه‌های گویایی برای سازه واقعی احداث شده جهت هرگونه بررسی و اتخاذ تصمیم لازم در اختیار باشند.

۵-۸- نقشه‌های معماری، تأسیسات الکتریکی و مکانیکی و مشخصات فنی مربوط

نقشه‌های معماری و تأسیساتی باید نشان‌دهنده جزئیات مربوطه و دارای اطلاعات کامل از جهات مزبور باشند.

۶-۸- موارد مواجهه با تناقض

در موارد مواجهه با تناقض در مدارک فنی پروژه، لازم است کارفرما و مهندسان مسؤول طراحی را آگاه ساخت تا در مورد رفع آن با همفکری و هماهنگی اقدام گردد.

۷-۸- تجدیدنظرها

تجدیدنظرهای جزئی در نقشه‌های طراحی و مشخصات فنی را اغلب روی نقشه‌ها و مشخصات فنی قبلی اعمال و با مشخص نمودن محل تجدیدنظرها روی نقشه‌ها و مدارک فنی و شماره تجدیدنظر و تاریخ، مجدداً ابلاغ می‌نمایند. در مواردی که تجدیدنظر جنبه کلی داشته باشد، باید نقشه‌های جدید ترسیم و ابلاغ شوند. این نقشه‌ها نیز باید نشان‌دهنده تجدیدنظر و شماره و تاریخ تجدیدنظر باشند. در این مورد نیز باید موارد تجدیدنظر در مشخصات فنی و گزارش‌های مرحله‌ای پروژه به روشنی قید گردند.

۸-۸- نحوه تأیید نقشه‌های ساخت و نصب کارخانه‌ای قطعات پیش ساخته

به صورتی که در بندهای فوق ذکر شد، ایده‌های طراحی به نقشه‌های کامل برای ساخت و نصب ترجمه می‌گردند. این نقشه‌ها شامل اطلاعات مربوط به ابعاد دقیق و کامل قطعات و همچنین ابعاد لازم برای نصب قطعات سازه در محل خواهند بود. نقشه‌های مزبور باید مورد بررسی و کنترل طراح یا مشاور عالی طرح قرار گرفته و در صورت نیاز مورد تجدیدنظر قرار داده شوند. در نهایت تنها نقشه‌هایی برای ساخت و نصب مورد بهره‌برداری قرار داده خواهند شد که مورد تأیید نماینده کارفرما قرار گرفته باشند.

اخذ تأییدیه از نماینده کارفرما در زمینه نقشه‌های ساخت موارد زیر را شامل می‌شود:

- تأیید صحت درک و استنباط کلی تهیه‌کننده نقشه‌ها از مفاهیم و اصول طراحی و اسناد مناقصه،
- تأیید آن که نماینده کارفرما کلیه جزییات نقشه‌ها را مورد بررسی و در نتیجه مورد تأیید قرار داده است،
- صدور مجوز شروع به تولید و ساخت و آغاز عملیات اجرایی.

این تأییدیه رافع مسؤلیت سازنده در ارتباط با میزان دقت و همچنین صحت ابعاد و جزییات در نقشه‌های ساخت و نصب و جانمایی قطعات و جزییات اجرایی اتصالات نخواهد بود.

۸-۹- مستندسازی نقشه‌ها از طریق روش‌های کامپیوتری طراحی، نقشه‌کشی و بایگانی اسناد

با توجه به حجم کوچک بایگانی مستندات پروژه در پرونده‌های کامپیوتری، بهره‌گیری از روش‌های کامپیوتری سودمند می‌باشد؛ ولی لازم است تمامی اصول اخلاقی و قانونی و حقوقی مربوطه توسط عوامل دست‌اندرکار رعایت گردد. بهره‌برداری غیرمجاز از هرگونه مستندات پروژه تابع قوانین صیانت از حقوق کارفرمایان، طراحان و سایر عوامل ذیمدخل خواهد بود.

فهرست مراجع اصلی

- ۱- مجموعه مقالات انتشار یافته در ژورنال بین‌المللی سازه‌های فضاکار از بدو انتشار تاکنون:
- International Journal of Space Structures, Collection of Papers, Vol. 1 No. 1 to Vol. 20 No. 4 (1984-2005), Founders and Editors: H. Nooshin and Z.S. Makowski.
 - International Journal of Space Structures, Collection of Papers, Vol. 21 No. 1 to Vol. 23 No. 4 (2005-2008), Editor: R. Motro.
- ۲- مجموعه مقالات پنج کنفرانس جهانی سازه‌های فضاکار که در مرکز تحقیقات سازه‌های فضاکار - دانشگاه‌های لندن و ساری - بریتانیا در حد فاصل سال‌های ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۲ برگزار گردیده‌اند:
- Proceedings of the First International Conference on Space Structures, held in the Space Structures Research Centre, University of London, Battersea College, Edited by: Z. S. Makowski, 1966.
 - Proceedings of the Second International Conference on Space Structures, held in the Space Structures Research Centre, University of Surrey, Edited by: W. J. Supple, 1975.
 - Proceedings of the Third International Conference on Space Structures, held in the Space Structures Research Centre, University of Surrey, Edited by: H. Nooshin, 1984.
 - Proceedings of the Fourth International Conference on Space Structures, held in the Space Structures Research Centre, University of Surrey, Edited by: G. A. R. Parke and C. M. Howard, 1993.
 - Proceedings of the Fifth International Conference on Space Structures, held in the Space Structures Research Centre, University of Surrey, Edited by: G. A. R. Parke and P. Disney, 2002.
- ۳- مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی سازه‌های فضاکار - دانشکده فنی دانشگاه تهران، به کوشش: شاهرخ مالک با همکاری استادان و متخصصان سازه‌های فضاکار کشور ۱۳۷۹.
- ۴ - مجموعه ۳ کتاب مهم در زمینه ۳ نوع اصلی سازه‌های فضاکار شبکه‌ای که به کوشش مرحوم پروفسور ماکوفسکی و با همکاری متخصصان سازه‌های فضاکار تدوین شده است:
- Analysis, Design and Construction of Double Layer Grids, Edited by : Z. S. Makowski, Applied Science Publishers, London, 1981.
 - Analysis, Design and Construction of Braced Barrel Vaults, Edited by : Z. S. Makowski, Applied Science Publishers, London, 1983.
 - Analysis, Design and Construction of Braced Domes, Edited by : Z. S. Makowski, Applied Science Publishers, London, 1985.
- ۵- مجموعه آیین‌نامه‌ها و استانداردهای ملی و بین‌المللی در زمینه‌های گوناگون مرتبط که با توجه به عدم وجود آیین‌نامه جامع سازه‌های فضاکار، به طور غیرمستقیم مورد بهره‌گیری قرار داده شده‌اند:
- مجموعه مقررات ملی ساختمانی ایران، به ویژه مبحث دهم، ویرایش ۱۳۸۷ و مبحث یازدهم.
 - مجموعه استانداردهای ملی کشور.
 - مجموعه آیین‌نامه‌های اتحادیه اروپا سری ENV.

- مجموعه آیین‌نامه‌های کشورهای اروپایی: (CEB, DIN, BS, ...).
- مجموعه آیین‌نامه‌ها و مشخصات فنی ایالات متحده آمریکا:
(AISC-LRFD, AASHTO-LRFD, UBC, IBC, FEMA, ASCE, ACI, ...)
- مجموعه آیین‌نامه‌های کشور کانادا.
- مجموعه استانداردهای ISO.
- ۶ - مجموعه رساله‌های دکترا و کارشناسی ارشد حاصل تحقیقات مستقل اعضای کمیته تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار در زمینه‌های تخصصی مربوط.
- ۷ - مجموعه رساله‌های دکترا و کارشناسی ارشد تکمیل شده تحت نظر و به راهنمایی اساتید عضو کمیته تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار در زمینه‌های ذیربط.
- ۸ - مجموعه مقالات کنفرانس‌های سالانه انجمن جهانی سازه‌های پوسته‌ای و فضاکار:
 - International Association for Shell and Spatial Structures.
- ۹ - مجموعه بولتن‌های انجمن جهانی سازه‌های پوسته‌ای و فضاکار از جمله:
 - Analysis, Design and Realization of Space Frames, a state of the art report, Bulletin of the International Association for Shell and Spatial Structures, Vol. XXV – 1/2 , 1984.
- ۱۰ - مجموعه کتب و انتشارات تخصصی در زمینه سازه‌های فضاکار به ویژه:
 - Z. S. Makowski, Steel Space Structures, Michael Joseph, London, 1965.
 - H. Nooshin, Formex Configuration Processing, Elsevier Applied Science Publishers, London, 1984.
 - W. R. Wendel, Space Frame Basics, published by: Space Structures International Corporation, 1983.

واژه نامه

| | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Acceptance criteria | معیارهای پذیرش |
| Accidental design situation | وضعیت طراحی تصادفی |
| Accidental imperfection | ناکاملی تصادفی |
| Actions | کنش‌ها |
| Active control systems | سیستم‌های کنترل فعال |
| Air supported structure | سازه هوانشین |
| Aircraft hangar | آشیانه هواپیما |
| Analogy | مانستگی |
| Analysis tool | ابزار تحلیل |
| Arch | قوس |
| Archimedean polyhedron | چندرخی ارشمیدسی |
| Archimedean solids | جامدات (احجام) ارشمیدسی |
| Architectural function | عملکرد معماری |
| Arc-length method | روش طول کمان |
| As built drawings | نقشه‌های چون ساخت |
| Assembly | بافت |
| Ball joint system | سیستم پیونده گوی سان |
| Ball joints | پیونده‌های کروی (گوی سان) |
| Barrel vault | چلیک |
| Bearings, supports | تکیه‌گاه‌ها |
| Behavior (behaviour) | رفتار |
| Bi- form space structure | سازه فضاکار دوگانه |
| Bifurcation | دوشاخگی |
| Bifurcation point instability | ناپایداری نقطه دوشاخگی |
| Bilinear | دوخطی |
| Bottom layer | لایه پایین، لایه زیرین |
| Boundary conditions | شرایط مرزی |
| Boundary element method | روش اجزای مرزی |
| Boundray conditions | شرایط مرزی |
| Braced dome | گنبد مهاربندی شده (شبکه‌ای) |
| Bracket | مرزانه |
| Brittle | ترد |
| Brittle fracture | شکست ترد |
| Buckling | کمانش |
| Cable | کابل |
| Cable roof systems | سیستم‌های بام کابلی |

| | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Cable stayed structures | سازه‌های کابل ایستا |
| Cable structure | سازه کابلی |
| Cast | ریخته‌گری شده |
| Characteristic value of actions | مقادیر مشخصه کنش‌ها |
| Characteristic value of an action | مقدار مشخصه کنش |
| Chordal snap-through | فروجهش عضوی |
| Circular Hollow Section (CHS) | مقطع توخالی دایروی |
| Cladding | پوشانه |
| Cold- formed member | عضو سرد شکل یافته |
| Combination of actions | ترکیب کنش‌ها |
| Compatibility conditions | شرایط سازگاری |
| Component | مؤلفه - سازند |
| Composite space structure | سازه فضاکار مختلط |
| Composite truss | خرپای مختلط |
| Compositive system | سیستم ترکیبی |
| Compression | فشار |
| Concentrated load | بار متمرکز |
| Conceptual design | طراحی مفهومی |
| Configuration | بافتار - تاشه |
| Configuration processing | تاشه پردازش |
| Configurational | تاشه‌ای |
| Connection | اتصال |
| Connectivity | هم‌بندی |
| Connector | وسیله اتصال |
| Connector deformability | تغییر شکل پذیری پیونده‌های اتصال |
| Consistent mass | جرم گسترده |
| Constrained | فرا بسته |
| Constraint | فرا بند |
| Construction management | مدیریت ساخت |
| Construction material | مصالح ساختمانی |
| Construction safety procedures | فرا بنده‌های ایمنی ساخت |
| Continuity | پیوستگی |
| Continuous | پیوسته |
| Continuum | پیوستار |
| Continuum analogy | قیاس به محیط پیوسته معادل |
| Convex | کوژ |

| | |
|-------------------------------|--------------------------|
| Convexity | کوژی |
| Corrosion fatigue | خستگی توام با خوردگی |
| Corrosion protection | حفاظت در برابر خوردگی |
| Covering | پوشانه |
| Critical load | بار بحرانی |
| Cyclic loading | بارگذاری رفت و برگشتی |
| Cyclic symmetry | تقارن چرخشی |
| Cylindrical coordinate system | دستگاه با مختصات سیلندری |
| Damage level | سطح خسارت، میزان خسارت |
| Damping ratio | نسبت میرایی |
| Data generation | داده آمایی |
| Data mining | داده کاوی |
| Data processing | داده پردازي |
| Dead load | بار مرده |
| Deep single-layer dome | گنبد تک لایه عمیق |
| Deformation | تغییر شکل |
| Degree of Freedom (DOF) | درجه آزادی |
| Dense configuration | تاشه چگال |
| Density of configuration | چگالی تاشه |
| Dependence | وابستگی |
| Deployable structures | سازه‌های بازشو |
| Design alternatives | گزینه‌های طراحی |
| Design basis earthquake | زلزله مبنای طراحی |
| Design criteria | معیارهای طراحی |
| Design drawings | نقشه‌های طراحی |
| Design for maintainability | طراحی برای تسهیل نگهداری |
| Design situation | وضعیت طراحی |
| Design spectrum | طیف طراحی |
| Design tools | ابزار طراحی |
| Design working life | عمر مفید طراحی |
| Detailed design | طراحی تفصیلی |
| Detailing | طراحی جزئیات |
| Deterministic analysis | تحلیل تعیینی (بایدی) |
| Deterministic methods | روش‌های بایدی (تعیینی) |
| Deterministically | بایدانه، به طور تعیینی |
| Developable surface | سطح گسترش پذیر |
| Diagonal grid | شبکه قطری |

| | |
|----------------------------|--|
| Diagonal member | اعضای قطری |
| Diagonal struts | اعضای جان شبکه‌های دو یا چند لایه فضاکار (که لایه‌های شبکه فضاکار را به یکدیگر متصل می‌کنند) |
| Diagonal-on-diagonal grid | شبکه دولایه متشکل از شبکه قطری رویین و زیرین |
| Diagonal-on-square grid | شبکه دولایه متشکل از شبکه قطری رویین و شبکه راستگوشه زیرین |
| Diamatic dome | گنبد دیاماتیک |
| Displacement controlled | تحت کنترل تغییر مکان |
| Displacement | جاب‌جایی، تغییر مکان |
| Distributed load | بار گسترده |
| Division | تقسیم |
| Documentation | مستندسازی |
| Dodecahedron | دوازده رخی |
| Dome | گنبد |
| Double curvature | دو انحنایی |
| Double layer | دولایه |
| Double layer barrel vaults | چلیک‌های دولایه |
| Double layer braced domes | گنبدهای دولایه شبکه‌ای (مهاربندی شده) |
| Double layer grid | شبکه دولایه |
| Double layer space truss | خرپای فضاکار دولایه |
| Dual | دوگان |
| Dual polyhedron | چندرخی دوگان |
| Duality | دوگانی |
| Ductile fracture | شکست (گسیختگی) شکل پذیر |
| Ductility | شکل پذیری |
| Durability | دوام، پایداری |
| Dynamic action | کنش دینامیکی |
| Dynamic instability | ناپایداری دینامیکی |
| Dynamic jump | جهش دینامیکی |
| Eccentricity | خروج از مرکزیت |
| Economy of design | (جنبه‌های) اقتصاد(ی) طرح |
| Eigen value | مقدار مشخصه |
| Eigen value analysis | تحلیل مقدار ویژه |

| | |
|--|---|
| Eigen vector | بردار ویژه |
| Elastic | کشسان |
| Elastic instability | ناپایداری ارتجاعی (الاستیک) |
| Elasticity | کشسانی |
| Elastic-plastic analysis (first or second order) | تحلیل الاستیک پلاستیک (از درجه اول یا دوم) |
| Element | جزء |
| Ellipsoid | بیضی‌گون |
| End cone | منحروط انتهائی |
| Environmental conditions | شرایط محیطی |
| Environmental effects | آثار محیطی |
| Equilibrium | تعدادل - ترازش |
| Equilibrium conditions | شرایط تعدادل |
| Erection | نصب - برپاداشتن |
| Erection drawings | نقشه‌های نصب (کارگاهی) |
| Experimental methods | روش‌های تجربی - روش‌های مبتنی بر آزمایش |
| Experimental stress analysis | تحلیل تجربی تنش‌ها |
| Explosion | انفجار |
| Fabrication | ساخت |
| Fabrication shop drawings | نقشه‌های ساخت کارخانه‌ای |
| Fatigue | خستگی |
| Fault | گسل |
| Faulting | گسلش |
| Feasibility studies | مطالعات توجیهی و امکان‌سنجی |
| Field investigations | بررسی‌های میدانی |
| Field testing | آزمایش‌های محلی |
| Fire design | طراحی در مقابل آتش‌سوزی |
| Fire protection | حفاظت در برابر آتش‌سوزی |
| First order elastic-perfectly plastic analysis | تحلیل الاستیک - کاملاً پلاستیک درجه‌اول |
| First order linear static analysis with redistribution | تحلیل استاتیکی خطی درجه اول با بازتوزیع |
| First order linear static analysis without redistribution | تحلیل استاتیکی خطی درجه اول بدون بازتوزیع |
| First order nonlinear analysis | تحلیل غیرخطی از درجه اول |
| Fixed action | کنش ثابت |
| Fixed support | تکیه‌گاه گیردار |

| | |
|------------------------------|--|
| Floor structure | سازه کف (یا سقف) |
| Foldable space structure | سازه فضاکار تاشو |
| Foldable structure | سازه تاشو |
| Force controlled | تحت کنترل نیرو |
| Forged | آهنگری شده، کوبین کاری شده، چلنگری شده |
| Form | دیسه، ریخت |
| Form finding | فرم‌یابی، دیسه‌یابی، ریخت‌یابی |
| Formation | فرم‌سازی |
| Formex | فرمکس |
| Formex algebra | جبر فرمکسی |
| Formian | برنامه (نرم افزار) فرمین |
| Four way grids | شبکه چهار راه (چهار سویه) |
| Fourier analysis | تحلیل فوریه |
| Fourier transformation | تبدیل فوریه |
| Fracture | شکست |
| Free action | کنش آزاد |
| Gaussian curvature | انحنای گوسی |
| Gaussian surface | رویه گوسی |
| Geodesic | ژئودزیک گنبد ژئودزیک |
| Geodesic dome | گنبدی که از محاط‌شدن یک چندوجهی (چندرخ) در یک کره تشکیل می‌شود. وجوه چندوجهی خود معمولاً از چند ضلعی تشکیل می‌شوند. اضلاع وجوه مجاور مشترک می‌باشند. هر وجه (رخ) از شبکه‌ای تخت تشکیل می‌گردد. |
| Geodesic form | دیسه ژئودزیک |
| Geodesic line | خط ژئودزیک (کوتاهترین فاصله بین دو نقطه روی سطح کره) |
| Geodesic structure | سازه ژئودزیک |
| Geometric nonlinear analysis | تحلیل غیر خطی هندسی |
| Geometric nonlinearity | غیرخطی هندسی |
| Geometrical imperfection | ناکاملی هندسی |
| Geometrical properties | خواص هندسی |
| Geometrical tolerance | رواداری هندسی |
| Geotechnical action | کنش ژئوتکنیکی |
| Geotechnical particulars | ویژگی‌های ژئوتکنیکی |
| Grade | درجه |

| | |
|---------------------------------|--|
| Gravitational force | نیروی گرانشی |
| Gravity | گرانش |
| Grid | شبکه |
| Grid dome | گنبد شبکه‌ای |
| Hangar | آشیانه هواپیما |
| Hardening rule | قاعده سخت‌شدگی |
| Hazard | خطر |
| Hemispherical dome | گنبدی که رؤوس آن در یک نیم کره محاط شده باشد |
| Hexahedron | شش رخی |
| High cycle fatigue | خستگی پرتواتر |
| Hollow spherical node | پیونده گوی سان نیامی |
| Hubs | پیونده‌ها |
| Human errors | اشتباهات انسانی |
| Hybrid space structure | سازه فضاکار دوگانه |
| Hyperbola | هذلولی |
| Hyperbolic | هذلولوی |
| Hyperbolic-paraboloid | سهمی‌گون هذلولوی (سهلوی) |
| Hysteresis performance | عملکرد هیستریزیس (چرخه‌ای) |
| Idealisation | ایده‌آل‌سازی - مدل‌سازی ریاضی |
| Impact | ضربه |
| Imperfect member | عضو ناکامل |
| Imperfect structure | سازه ناکامل |
| Imperfection | ناکاملی، نابه‌جایی |
| Imperfection sensitivity | حساسیت به ناکاملی |
| initial imperfection | ناکاملی اولیه |
| Importance | اهمیت |
| Importance category | رده اهمیت |
| Incremental-iterative | نموی - تکراری |
| Indeterministic analysis | تحلیل احتمال‌اندیشانه (شایدی) |
| Indeterministic methods | روش‌های شایدی (احتمال‌اندیشانه) |
| Industrial mass production | تولید انبوه صنعتی |
| Industrialised space structures | سازه‌های فضاکار صنعتی‌سازی شده |
| Inflatable structure | سازه بادشو |
| Initial curvature | انحنای اولیه |
| Inner strut | عضو شبکه زیرین (درونی) در شبکه‌های چندلایه |
| In-situ | درجا |

| | |
|----------------------------------|---|
| Inspection methods | بازرسی (فنی) |
| Instability | ناپایداری |
| Interconnection pattern | الگوی هم‌بندی |
| Irreversible limit state | حالت حدی برگشت‌ناپذیر |
| Isotropic hardening | سخت‌شدگی ایزوتروپیک |
| Isotropic plate | صفحه ایزوتروپیک (همگن و همسان) |
| Iterative methods | روش‌های مبتنی بر فرایند تکرار |
| Joint | اتصال |
| Joint flexibility | انعطاف‌پذیری اتصال |
| Joint instability | ناپایداری اتصال |
| Joint, node | پیونده، گره |
| Keyword | کلیدواژه |
| Kinematic hardening | سخت‌شدگی سینماتیک |
| Laboratory testing | آزمایش‌های آزمایشگاهی |
| Lack of fit imperfection | ناکاملی عدم انطباق |
| Lamella barrel vault | چلیک لاملایی |
| Large displacement effects | آثار تغییر مکان‌های بزرگ |
| Large strain effects | آثار کرنش‌های بزرگ |
| Lateral buckling | کمانش جانبی |
| Lateral spreading | گسترش جانبی |
| Lattice dome | گنبد متشکل از اعضای مستقیم‌الخط، معمولاً با هم‌بندی مثلی |
| Level of confidence | سطح اطمینان |
| Lift up methods of erection | روش‌های نصب از طریق بالابری |
| Limit analysis | تحلیل حدی |
| Limit state analysis | تحلیل حالت حدی |
| Limit states | حالت حدی |
| Line instability | ناپایداری در امتداد محور |
| Linear analysis | تحلیل خطی |
| Liquefaction | روانگرایی |
| Live load | بار زنده |
| Load and resistant factor design | روش ضرایب پاره‌ای بار و مقاومت |
| Load arrangement | آرایش بارها |
| Load case | حالت بار |
| Load controlled | تحت کنترل بار |

| | |
|-------------------------------|--|
| Load test | آزمایش تحت اعمال بار |
| Loading imperfections | نابه‌جایی‌های بارگذاری (مانند برون محوری در اعمال بار) |
| Local buckling | کمانش موضعی |
| Local snap-through | فروجهش محلی |
| Long term actions | کنش‌های دراز مدت |
| Low cycle fatigue | خستگی کم تواتر |
| Lower limit | کرانه پایینی |
| Lumped mass | جرم متمرکز فرض شده |
| Maintenance | نگهداری |
| Mallow dome | گنبد گل ختمی |
| Manual Metal-Arc Welding | جوش کاری قوسی فلزی دستی |
| Mass | جرم |
| Mass production | تولید انبوه |
| Material deterioration | اضمحلال مصالح |
| Material nonlinear analysis | تحلیل غیرخطی مصالح |
| Material nonlinearity | غیرخطی مصالح |
| Material properties | خواص مصالح |
| Maximisation | بیشینه‌یابی |
| Maximum considered earthquake | زلزله ملحوظ‌شده به عنوان بیشینه |
| Maximum credible earthquake | زلزله باورپذیر بیشینه |
| Mechanical properties | خواص مکانیکی |
| Member | عضو- هموند - عنصر |
| Member buckling | کمانش عضوی |
| Member instability | ناپایداری عضوی |
| Membrane | غشا- پاشام |
| Membrane space structure | سازه فضاکار غشایی |
| Membrane structure | سازه غشایی، سازه پاشامی |
| Metal Inert Gas (MIG) Welding | جوش کاری با حفاظت گازی |
| Metalurgical properties | خواص متالورژیکی |
| Minimisation | کمینه‌یابی |
| Mirror image symmetry | تقارن نسبت به صفحه (تقارن بسان تصویر جسم در آینه) |
| Modal participation factor | ضریب مشارکت مودی |
| Mode shape | شکل مودی |
| Modeling (Modelling) | مدل‌سازی |

| | |
|------------------------------|---|
| Modular structures | سازه‌های مدوله، واحدی |
| Modular system | سیستم واحدی |
| Module | مدول، واحد تکرارشونده |
| Monotonic loading | بارگذاری تک آهنگ |
| Morphology | دیسه‌شناسی، ریخت‌شناسی، فرم‌شناسی |
| Multi - layer | چندلایه |
| Multi - layer barrel vaults | چلیک‌های چند لایه |
| Multi - layer braced domes | گنبد‌های چند لایه شبکه‌ای |
| Multi -layer grids | شبکه‌های چند لایه |
| Multi-layer grid | شبکه چند لایه |
| Multi-layer grid | شبکه‌های چند لایه |
| Multi-level substructuring | تحلیل چند سطحی پاره سازه‌ها |
| Multiple support excitation | تحریک نامتجانس تکیه گاه‌ها |
| Near field | حوزه نزدیک |
| Network | شبکه |
| Neutral stability | پایداری خنثی |
| Nodal displacement | تغییر مکان گرهی |
| Nodal snap-through | فروجهش گرهی |
| Node | پیونده، گره |
| Node instability | ناپایداری گرهی |
| Nodular | پیونده‌ای، گرهی |
| Nodular system | سیستم پیونده ای |
| Nodular systems | سازه پیونده‌ای |
| Nominal value | مقدار اسمی |
| Non-linear analysis | تحلیل غیرخطی |
| Non-linear dynamic analysis | تحلیل دینامیکی غیرخطی |
| Nonlinear response | پاسخ غیرخطی |
| Non-linear static analysis | تحلیل استاتیکی غیرخطی |
| Notatin | نموش |
| Novated dome | گنبد نوانشی |
| Octahedron | هشت رخی |
| Onion dome | گنبد پیازگونه |
| Operational basis earthquake | زلزله مبنای خدمت رسانی |
| Optimization | بهینه‌یابی |
| Optimum | بهینه |
| Orthotropic plate | صفحه ارتوتروپیک (دارای خواص غیرهمسان در دو امتداد متعامد) |

| | |
|---------------------------------|---|
| Outer strut | عضو شبکه رویین (بیرونی) در شبکه‌های چندلایه |
| Overall buckling | کمانش کلی |
| Overall instability | ناپایداری عمومی |
| Overtightening | پیش‌تنیدگی (سفت‌شدگی بیش از میزان موردنظر) |
| Parallel lamella dome | گنبد لامالیبی موازی |
| Passive control systems | سیستم‌های کنترل غیر فعال |
| Pellevated dome | گنبد فرازشی |
| Perfect structure | سازه کامل |
| Performance | عملکرد |
| Performance based design | طراحی مبتنی بر عملکرد |
| Performance levels | ترازهای عملکردی |
| Permanent actions | کنش‌های دائمی |
| Persistent design situation | وضعیت طراحی دائمی |
| Pin connection | اتصال مفصلی |
| Pin jointed connection | اتصال مفصلی |
| Pin support | تکیه‌گاه مفصلی |
| Pin-connected grid | شبکه با اتصالات مفصلی |
| Pin-jointed grid | شبکه با اتصالات مفصلی |
| Plane of symmetry | صفحه تقارن |
| Plane structure | سازه مسطح |
| Plate (shell) analogy | قیاس به صفحه (پوسته) معادل |
| Plate joint system | سیستم پیونده صفحه‌ای |
| Platonic polyhedron | چنددرخی افلاطونی |
| Platonic solids | احجام افلاطونی |
| Platonic solids | جامدات (احجام) افلاطونی |
| Polar coordinate system | دستگاه با مختصات قطبی |
| Polyhedra | چنددرخی، چندبری، چندوجهی |
| Polyhedron | چندوجهی (با وجوه چند ضلعی)، چنددرخی |
| Ponding | آب‌انباشتگی |
| Post - elastic | فرا الاستیک |
| Post buckling behaviour | رفتار فراکمانشی |
| Post buckling strength | مقاومت فراکمانشی |
| Postprocessing | پس پردازش |
| Prefabricated | پیش ساخته |
| Pre-fabricated space structures | سازه‌های فضاکار پیش ساخته |
| Prefabrication | پیش ساختن |
| Preprocessing | پیش پردازش |

| | |
|----------------------------------|---|
| Prescribed pre-stressing | پیش‌تنیدگی از پیش تعیین شده |
| Prestressed | پیش‌تنیده |
| Prestressing | پیش‌تنیدگی |
| Principal polyhedral triangle | مثلث سه پهلو برابری که یکی از رویه‌های یک چندوجهی منتظم را تشکیل می‌دهد |
| Probabilistic | احتمالی، شایده |
| Probabilistically | احتمال‌اندیشانه، شایدانه |
| Probability | احتمال، شایمندی |
| Process | فرایند |
| Processing | پردازش |
| Production management | مدیریت تولید |
| Progressive collapse | خرابی (گسیختگی) پیش‌رونده (زنجیره‌وار) |
| Progressive failure | خرابی پیش‌رونده |
| Prototype | پیش‌نمونه |
| Pseudo-static | شبه‌استاتیکی |
| Push over analysis | تحلیل بار افزون |
| Quality assurance | تضمین کیفیت |
| Quality control | کنترل کیفیت |
| Quality management | مدیریت کیفیت |
| Rayleigh damping coefficient | ضریب میرایی ریلی |
| Rectangular grid | شبکه راستگوشه |
| Rectangular Hollow Section (RHS) | مقطع راستگوشه توخالی |
| Reference period | دوره زمانی مبنا |
| Relaxation | وادادگی |
| Reliability | اعتمادپذیری - قابلیت اطمینان، قابلیت اعتماد |
| Repair | ترمیم |
| Residual displacement | تغییر مکان پس‌ماند |
| Residual stresses | تنش‌های پس‌ماند |
| Resistance | مقاومت (تاب) |
| Response spectrum analysis | تحلیل طیف پاسخ |
| Reticulated space structure | سازه فضاکار شبکه‌ای |
| Return period | دوره بازگشت |
| Reversible limit state | حالت حدی بهره‌برداری برگشت‌پذیر |
| Revision | تجدیدنظر |
| Ribbed dome | گنبد دنده‌ای |

| | |
|---|---|
| Rigid body movment | حرکت جسم صلب |
| Rigid connection | اتصال صلب |
| Rigidity | صلبیت |
| Rigidly jointed connection | اتصال صلب |
| Rigidly- jointed grid | شبکه با اتصالات صلب |
| Rise-to-span ratio | نسبت ارتفاع به دهانه |
| Roller | غلطک، غلتک |
| Roller support | تکیه‌گاه غلطکی (غلتکی) |
| Rolling | نورد |
| Roof structure | سازه بام |
| Safety evaluation | ارزیابی در سطح ایمنی |
| Safety level | تراز ایمنی |
| Scallop dome | گنبد اسکالپ |
| Schwedler dome | گنبد شودلر |
| Second order elastic-perfectly plastic analysis | تحلیل الاستیک - کاملاً پلاستیک درجه دوم |
| Second order linear-elastic analysis | تحلیل الاستیک خطی از درجه دوم |
| Second order nonlinear analysis | تحلیل غیرخطی از درجه دوم |
| Seismic action (AE) | کنش لرزه‌ای (ناشی از زمین لرزه) |
| Seismic design | طراحی لرزه ای |
| Seismic hazard levels | سطوح خطرپذیری لرزه ای |
| Semi-rigid connection | اتصال نیمه صلب |
| Sensitivity analysis | تحلیل حساسیت |
| Serviceability | بهره‌برداری |
| Serviceability criteria | معیار بهره‌برداری |
| Serviceability evaluation | ارزیابی در سطح بهره‌برداری (خدمت‌رسانی) |
| Serviceability level | تراز بهره‌برداری |
| Serviceability limit state | حالت حدی بهره‌برداری |
| Shallow dome | گنبد کم‌خیز |
| Shear modulus | مدول برشی |
| Shell | پوسته |
| Shell joint system | سیستم پیونده پوسته‌ای |
| Short term actions | کنش‌های کوتاه مدت |
| Simple support | تکیه‌گاه ساده |
| Single action | کنش منفرد |

| | |
|---------------------------------------|--|
| Single layer | تک لایه |
| Single layer barrel vaults | چلیک‌های تک لایه |
| Single-layer braced dome | گنبد تک لایه شبکه‌ای |
| Single layer gridworks | شبکه‌های تک لایه |
| Single-layer flat grid | شبکه تخت تک لایه |
| Singular | تکینه |
| Singularity | تکینگی |
| Site | ساختگاه |
| Skeletal space structure | سازه فضاکار شبکه‌ای (اسکلتی) |
| Skeletal structure | سازه اسکلتی |
| Skew symmetry | تقارن معکوس (حالت پاد متقارن) |
| Slab | تاوه |
| Sleeve | غلاف |
| Slenderness | لاغری |
| Slot joint system | سیستم پیونده شکافی - دنده‌ای |
| Slot node | پیونده شکافی |
| Snap-through | فروجهش |
| Snap-through buckling | کمانش فروجهشی |
| Socket joint deformability | تغییر شکل پذیری پیونده‌های نیامی |
| Socket joint system | سیستم پیونده نیامی |
| Socket joints | پیونده‌های نیامی |
| Socket node | پیونده نیامی |
| Soil-foundation-structure interaction | اندرکنش خاک - پی - سازه |
| Sound proofing | صدابندی |
| Space frame | قاب فضاکار |
| Space structure | سازه فضاکار |
| Space truss | خرپای فضاکار |
| Sphere | کره |
| Spherical | کروی |
| Spherical coordinate system | دستگاه مختصات کروی |
| Spherical dome | گنبدی که از محاط شدن رؤوس رخ‌های آن در یک کره حاصل می‌شود. |
| Spherical node | پیونده گوی سان |
| Spherical shell | پوسته کروی |
| Square on diagonal grid | شبکه دولایه با لایه با لایه روئین راستگوشه و لایه زیرین قطری |

| | |
|---|--|
| Square on diagonal grid | شبكة دو لایه رویین راستگوشه و لایه زیرین قطری |
| Stability | پایداری |
| Stable | پایدار |
| Static action | کنش استاتیکی |
| Static condensation | تلخیص استاتیکی |
| Step by step integration of equations of motion | انتگرال گیری گام به گام معادلات حرکت |
| Step-by-step incremental analysis | تحلیل نموی گام به گام |
| Stiffness | سختی |
| Storage | انبار کردن |
| Strain hardening | سخت شدگی کرنشی |
| Strength | مقاومت |
| Structural analysis | تحلیل سازه |
| Structural assessment | ارزیابی سازه‌ای |
| Structural form | دیسه سازه‌ای |
| Structural member | عضو سازه‌ای |
| Structural model | مدل سازه‌ای |
| Structural morphology | دیسه شناسی سازه‌ای |
| Structural performance | عملکرد سازه‌ای |
| Structural response | پاسخ سازه‌ای |
| Structural system | سیستم سازه‌ای |
| Structure | سازه |
| Subdivision | زیربخش |
| Submerged Metal-Arc Welding (SMA) | جوش کاری زیرپودری |
| Substructure | پاره سازه |
| Super element | جزء مافوق |
| Support settlement | نشست تکیه‌گاه |
| Symmetry | تقارن |
| Technical specifications | مشخصات فنی |
| Tensegrity | کش بستنی |
| Tensegrity space structure | سازه فضاکار کش بستنی |
| Tensegrity structure | سازه کش بست |
| Tension structure | سازه کششی |
| Three way grids | شبكة سه راهه (سو سوویه) |
| Time dependent actions | کنش های تابع زمان |

| | |
|--------------------------------|--|
| Time-history analysis | تحلیل تاریخچه زمانی |
| Tolerance | رواداری |
| Top layer | لایه بالایی |
| Topology | هم‌بندی |
| Torsion | پیچش |
| Torsional buckling | کمانش پیچشی |
| Torsional instability of node | ناپایداری پیچشی گرهی |
| Total Quality Management (TQM) | مدیریت کیفیت فراگیر |
| Tower | برج - دکل |
| Transient design situation | وضعیت طراحی گذرا |
| Translational symmetry | تقارن انتقالی |
| Transmission tower | دکل انتقال برق |
| Transportation | حمل |
| Triple layer | سه لایه |
| Triple layer grid | شبکه سه لایه |
| Triple layer space truss | خرپای فضاکار سه لایه |
| Triple-layer grid | شبکه سه لایه |
| Truss | خرپا |
| Tubular joint | اتصال (مستقیم) اعضای لوله‌ای |
| Tubular member | عضو لوله‌ای |
| Ultimate limit state | حالت حدی نهائی |
| Unstable | ناپایدار |
| Unsymmetric loading | بارگذاری نامتقارن |
| Upper limit | کرانه بالایی |
| Verification | صحت‌سنجی |
| Vulnerability | آسیب‌پذیری |
| Vulnerability assessment | ارزیابی آسیب‌پذیری |
| Water tightness | آب‌بندی |
| Weather proofing | هوابندی - درزبندی |
| web | جان |
| Web members | اعضای جان (واسط شبکه‌های رویین وزیرین یا بیرونی و درونی) |
| Weight optimisation | بهینه‌یابی به قصد کمینه‌سازی وزن |
| Wind external pressure | فشار نیروی باد |
| Wind flow parameters | پارامترهای جریان باد |
| Wind force coefficients | ضرایب نیروی باد |

Wind pressure coefficients

ضرایب فشار باد

Wind tunnel test

آزمایش درون تونل باد

Islamic Republic of Iran
Vice presidency for Strategic Planning and Supervision

Code of Practice for Skeletal Steel Space Structures

No.400

Office of Deputy for Strategic Supervision

Bureau of Technical Execution System

<http://tec.mporg.ir>

2010

Summary

The present volumes contain the outcome of investigations carried out in the framework of the second phase of a programme of research aiming at the preparation of a code of practice for Skeletal steel Space Structures.

The realization of the research work has been made possible in the context of a research contract between the Technical Bureau of the Management and Planning Organization of Iran and the Faculty of Engineering of the University of Tehran.

The present code of practice for Space Structures has been prepared for the first time in this scale in an International level with the support provided by the management and planning organization of Iran.

The enclosure includes the final thoroughly revised version of the main text of the code, necessary commentaries and appendices which have been approved unanimously by the members of the main committee and the specialty working group responsible for the preparation of this code. The members had been selected among the distinguished nationally and internationally recognized academic and professional specialists in the field. The prepared code of practice for space structures covers the scope of work intended to be met in the second phase of the current research programme.