۱۳۸۷۷۱

دانشگاه ارومیه

بررسی اثرات خطای ساخت اعضا در ظرفیت باربری و رفتارخرابی شبکه های دو لایه فضا کار

عطاالله ماهوتی

دانشکده فنی دانشگاه ارومیه

گروه عمران

۱۳۸۸

پایان نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد

۱۳۸۹/۲/۸

استاد راهنما : دکتر محمد رضا شیدایی

دکتر کریم عابدی

۱۳۸۷۷۱

پایان‌نامه آقای عطاءالله ناهیدی به تاریخ ۸۸/۶/۳۱ شماره مورد پذیرش هیأت محترم

داوران با رتبه عالی و نمره ۱۹/- قرار گرفت.

۱- استاد راهنما و رئیس هیئت دوران : دکتر محمدرضا شیدری

۲- استاد مشاور : داور داخلی دکتر حسین توکلی

۳- داور خارجی : دکتر خلیل عزیزمتند

۵- نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر جواد نوری

حق چاپ و نشر مطالب این پایان نامه
در انحصار دانشگاه ... می باشد.

تقدیم به ...

پدر و مادر عزیزم

چکیده

در سال های اخیر به دلیل مزایای سازه های فضاکار از قبیل وزن کم و ظرفیت تحمل بار زیاد استفاده از این سازه ها برای پوشش دهانه های بزرگ مانند سالن های ورزشی و سالن های چند منظوره بسیار افزایش یافته است.

سازه های فضاکار نیز مانند سایر انواع سازه ها می تواند تحت ناکاملی های مختلفی قرار بگیرد. با وجود شهرت این سازه ها به داشتن درجه نامعینی بالا و توانائی جذب نیروها پس از خرابی یک یا چند عضو، سازه های فضاکار دارای مشخصه خرابی پیشرونده نیز می باشند که این نوع خرابی می تواند حساسیت زیادی نسبت به وجود انواع ناکاملی ها در سازه داشته باشد. به منظور اطمینان از ایمنی سازه ، بررسی رفتار سازه دارای ناکاملی بسیار مهم خواهد بود.

یکی از متداولترین نوع ناکاملی های هندسی در خرپاهای ساخته شده وجود ناکاملی به صورت عدم تطابق طول عضو با مقدار ایده آل آن است. با توجه به اینکه سازه های فضاکار از صدها و یا هزاران عضو ساخته می شوند وجود اعضای ناکامل در سازه اجتناب ناپذیر خواهد بود.

در این پایان نامه در ابتدا تاثیر انواع ناکاملی ها در روی رفتار کل سازه و عضو دارای ناکاملی بررسی شده است سپس برای درک بهتر تاثیر ناکاملی از نوع اندازه نبودن طول عضو این نوع ناکاملی در اعضای مختلف لایه بالا، پائین و اعضای قطری سازه اعمال شده است. این پایان نامه برای شناسایی اثر وجود این نوع ناکاملی در ظرفیت باربری و رفتار انواع خرپا های دولایه فضاکار انجام گرفته است.

تاثیر وجود ناکاملی از نوع اندازه نبودن طول عضو در شبکه های چلیکی دولایه و شبکه های دولایه تخت با شرایط مختلف تکیه گاهی مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور شناسائی مناطق بحرانی سازه که وجود این نوع ناکاملی در آنها بیشترین آسیب را در روی سازه اعمال می کند، ناکاملی در قسمت های مختلف سازه اعمال شده است.

بر اساس نتایج حاصل از آنالیزهای عددی به طور کلی چلیک های دولایه و شبکه های دولایه تخت نسبت به وجود ناکاملی دارای حساسیت هستند که میزان این حساسیت بر اساس محل عضو دارای ناکاملی و شرایط تکیه گاهی سازه متفاوت خواهد بود.

فهرست

فصل ۱مقدمه ۱

۱-۱مقدمه ای بر سازه‌های فضاکار ۱

۱-۲-مطالعه تاثیر ناکاملی در سازه های فضاکار دار ٤

۱-۳- اهداف پروژه ٥

۱-٤- رئوس مطالب پایان نامه ٥

فصل ۲ ناکاملی در سازه های فضاکار ٦

۲-۱-مقدمه ٦

۲-۲- تقسم بندی انواع ناکاملی ۷

۲-۲-۱-ناکاملی در اندازه سطح مقطع عضو ۸

۲-۲- ۲وجود انحنا اولیه در عضو ۹

۲-۲- ۳خروج از مرکزیت در اعضای متصل به گره ۱۰

۲-۲-٤ وجود ناکاملی در طول اعضا ۱۱

۲-۳- بررسی تاثیر نوع اتصال در ایجاد ناکاملی در سازه های فضاکار ۱۲

۲-۳-۱-اتصالات غیر قابل تنظیم ۱۲

۲-۳-۲ اتصالات قابل تنظیم ۱۳

۲-٤-تاثیر ناکاملی در سازه های تک لایه فضاکار ۱۳

۲-٥-.تاثیر ناکاملی در سازه های دو لایه فضاکار ۱٤

۲-٦-تاثیر ناکاملی در سازه های فضاکار کش بستی ۱٦

۲-۷-تعیین کل نیروی یک عضو دراثر وجود انحراف درطول عضو و تغییرات حرارت در سازه ۱٦

۲-۸-اثر وجود ناکاملی در طول عضو در روی نمودار بار-تغییر مکان ۱۷

۲-۹-مقدارناکاملی فرض شده دراعضا در مطالعات انجام گرفته ۱۹

۲-۱۰- روشهای مورد استفاده برای مشخص کردن حساسیت یک سازه به وجود انواع ناکاملی درآن ۱۹

۲-۱۰-۱- استفاده از روش کار مجازی ۱۹

۲-۱۰-۲- استفاده از روش سازگاری تغییر شکل ها ۲۰

۲-۱۰-۳- استفاده از مفهوم انرژی ۲۱

۲-۱۰-٤- استفاده از روش تئوری پایداری Koiters ۲۲
۲-۱۰-٥-آنالیز غیرخطی با استفاده از مفهوم انرژی ۲۲
۲-۱۰-٦- استفاده از آنالیز غیرخطی المان محدود سازه ۲٥
۲-۱۰-۷-توزیع تصادفی ناکاملی در سازه ۲٦
۲-۱۰-۷ -۱- استفاده از توزیع ناکاملی به صورت تصادفی ۲٦
۲-۱۰-۷ -۲- روش مدل تطابق ناکاملی ۲٦
۲-۱۱-خلاصه و نتیجه گیری ۲٦
فصل ۳ مروری بر مطالعات انجام گرفته بر روی اثر وجود خطای ساخت در طول اعضا در سازه های فضاکار ۲۸
۳-۱- مقدمه ۲۸
۳-۲-روش در نظر گرفتن کاهش سختی محوری در اثر وجود ناکاملی هندسی و مکانیکی در عضو: ۲۹
۳-۳- ظرفیت قابل تحمل توسط خرپاهای دو لایه با در نظر گرفتن ناکاملی در طول عضو و گاهی: ۳۰
۳-٤- نتایج کارهای آزمایشگاهی در روی شبکه های دو لایه تخت ۳۳
۳-٥- بررسی حسساسیت یک خرپای دو لایه به وجود ناکاملی در اندازه طول یک عضو ۳٤
۳-٦- اثر وجود ناکاملی در طول اعضای خرپا های سه لایه فضاکار ۳۹
۳-۷-اثر وجود ناکاملی در طول اعضا در چلیکهای تک لایه فضاکار ٤٤
فصل ٤ مدل سازی عناصر محدود ٥۱
٤-۱مقدمه ٥۱
٤-۲-مدل سازی هندسی ٥۲
٤-۳-نوع تحلیل ٥۳
٤-٤-مدل سازی رفتار تنش-کرنش اعضا ٥٤
٤-٥-نحوه مدل سازی اعمال ناکاملی در طول اعضا ٥۷
٤-٦-روش های تحلیل مسائل غیرخطی ٥۹
٤-٦-۱- روش نیوتن – رافسون ٦۲
٤-٦-۲- روش طول کمان ٦۳
٤-٦-۳ همگرائی ٦٤
فصل٥ بررسی حساسیت رفتار پایداری سازه های فضاکار دو لایه نسبت به ناکاملی طول اعضا.... ٦٥
٥-۱-مقدمه ٦٥

۵-۲- انواع مکانیزم های خرابی در سازه‌های فضاکار ٦٦
۵-۲-۱-نقش استخراج مکانیزم های خرابی ٦٨
۵-۳-بافتار های مورد مطالعه ٦٨
۵-٤ مدل سازی رفتار اعضا ٧١
۵-۵-تحلیل رفتار خرابی شبکه های دو لایهٔ فضاکار ٧٢
۵-٦-انتخاب اعضا برای اعمال ناکاملی طول اعضا در آنها ٧٢
۵-۷-نتایج تحلیل ٧٤
۵-۷-۱-چلیک دو لایه دارای تکیه گاههای محیطی ٧٤
۵-۷-۱-۲تاثیر وجود ناکاملی در اعضای لایه بالا ٧٥
۵-۷-۱-۳-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای لایه پائین ٧٧
۵-۷-۱-٤-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای قطری ٧٨
۵-۷-۱-۵- خلاصه نتایج تحلیل ها ٧٩
۵-۷-۲ چلیک دو لایه دارای تکیه گاه کناری ٨١
۵-۷-۲-۱تاثیر وجود ناکاملی در اعضای لایه بالا ٨٢
۵-۷-۲-۳-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای لایه پائین ٨٤
۵-۷-۲-۳-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای قطری ٨٥
۵-۷-۱-۵- خلاصه نتایج تحلیل ها ٨٥
۵-۷-۳چلیک دو لایه دارای تکیه گاه لبه ها ٨٨
۵-۷-۳-۱-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای لایه بالا ٨٩
۵-۷-۳-۲-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای لایه پائین ٩١
۵-۷-۳-۳-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای قطری ٩٢
۵-۷-۳-٤-خلاصه نتایج تحلیل ها ٩٤
۸-۷-٤-چلیک دو لایه دارای تکیه گاه های گوشه ٩٦
۵-۷-٤-۱-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای لایه بالا ٩٧
۵-۷-٤-۲-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای لایه پائین ٩٩
۵-۷-٤-۳-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای قطری ١٠٠
۵-۷-٤-٤خلاصه نتایج تحلیل ١٠١
۵-۷-۵-شبکه دو لایه تخت دارای تکیه گاه های محیطی ١٠٣
۵-۷-۵-۱-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای لایه بالا ١٠٤
۵-۷-۵-۲-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای لایه پائین ١٠٦
۵-۷-۵-۳-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای قطری ١٠٧
۵-۷-۵-٤خلاصه نتایج تحلیل ها ١٠٨
۵-۷-٦-شبکه دو لایه تخت دارای تکیه گاه های گوشه ١١٠
۵-۷-٦-۱-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای لایه بالا ١١١

۵-۷-٦-۲-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای لایه پائین ۱۱۳
۵-۷-٦-۳-تاثیر وجود ناکاملی در اعضای قطری ۱۱٤
۵-۷-٦-٤-خلاصه نتایج تحلیل ها ۱۱٤
۵-۸-خلاصه ۱۱۵
فصل٦ خلاصه و نتیجه گیری ۱۱٦
٦-۱-مقدمه ۱۱٦
٦-۲-نتایج ۱۱۸
٦-۳- توصیه‌های طراحی و اجرائی ۱۱۹
٦-٤- پیشنهادات برای مطالعات آتی ۱۲۰
مراجع ۱۲۱

فهرست اشکال

فصل ۱

شکل ۱-۱: نمونه هائی از شبکه های دو لایه فضاکار ۳

شکل ۱-۲: شبکه دو لایه تخت ۳

شکل ۱-۳: بافتار های چلیک دو لایه ٤

شکل ۱-٤: نمونه ای از چلیک دو لایه ٤

فصل ۲

شکل ۲-۱: تاثیر ناکاملی هندسی در رفتار سازه ۷

شکل ۲-۲: تاثیر انحنا اولیه در روی بار قابل تحمل توسط عضو ۹

شکل ۲-۳: سیستم استاندارد mero بدون خروج از مرکزیت ۱۰

شکل ۲-٤: نمونه ای از سیستم استاندارد mero ۱۰

شکل ۲-۵: نمونه سیستم اتصال غیر قابل تنظیم ۱۲

شکل ۲-٦: اثر وجود انحراف در اندازه طول عضو ۱٤

شکل ۲-۷: ناپایداری گرهی ۱۵

شکل ۲-۸: نمودار رفتار عضو ایده آل ۱۸

شکل ۲-۹: نمودار رفتار عضو کوتاهتر ۱۸

شکل ۲-۱۰: نمودار رفتار عضو بلندتر ۱۸

شکل ۲-۱۱: آنالیز یک خرپای نامعین ۲۰

شکل ۲-۱۲: رفتار الاستیک غیر خطی ۲۲

فصل ۳

شکل۳-۱: نمودار کاهش سختی محوری ۳۰

شکل۳-۲: مشخصات شبکه مورد مطالعه ۳۱

شکل۳-۳: محل اعمال ناکاملی در سازه ۳۲

شکل۳-٤: نتایج حاصل از آنالیز ۳۲

شکل۳-۵: مقایسه نتایج حاصل از تحلیل تئوری و نتایج آزمایشگاهی ۳۳

شکل۳-٦: سازه مورد مطالعه ۳٤

شکل۳-۷: محل اعضایی که ناکاملی در آنها در نظر گرفته شده است ۳۵

شکل۳-۸: اعضای دارای ناکاملی در لایه پائین. ۳۶
شکل۳-۹: اثر ناکاملی در اعضای لایه پائین بر روی مقاومت سازه ۳۶
شکل۳-۱۰: نمودار بار تغیر مکان سازه دارای ناکاملی در اعضای لایه پائین ۳۶
شکل۳-۱۱: اعضای دارای ناکاملی در لایه با لا ۳۷
شکل۳-۱۲: اثر ناکاملی در اعضای لایه بالا بر روی مقاومت سازه ۳۷
شکل۳-۱۳: اثر وجود ناکاملی در اعضای لایه بالادر روی نمودار بار-تغییر مکان سازه ۳۸
شکل۳-۱٤: اعضای قطری دارای ناکاملی ۳۸
شکل۳-۱۵: اثر ناکاملی در اعضای قطری بر روی مقاومت سازه ۳۹
شکل۳-۱٦: اثر وجود ناکاملی در قطری یر روی نمودار بار-تغییر مکان سازه..... ۳۹
شکل۳-۱۷: اندازه های شبکه های سه لایه مورد مطالعه..... ٤۰
شکل۳-۱۸: شرایط تکیه گاهی ٤۰
شکل۳-۱۹: در نظر گرفتن لایه بتنی ٤۰
شکل۳-۲۰: محل اعضای دارای ناکاملی در شبکه سه لایه ٤۱
شکل۳-۲۱: کاهش مقاومت در سازه در اثر وجود ناکاملی در هر عضو..... ٤۱
شکل۳-۲۲: رفتار سازه Trnc11 و Trnc15 با اعضای ناکامل در لایه پائین ٤۲
شکل۳-۲۳: رفتار سازه Trnc11 و Trnc15 با اعضای ناکامل در لایه بالا..... ٤۲
شکل۳-۲٤: رفتار سازه Trnc11 و Trnc15 با اعضای قطری ناکامل..... ٤۲
شکل۳-۲۵: رفتار سازه Trnc11ed و Trnc15ed با اعضای ناکامل در لایه پائین ٤۳
شکل۳-۲٦: رفتار سازه Trnc11ed و Trnc15ed با اعضای قطری ناکامل..... ٤۳
شکل۳-۲۷: انواع پیکر بندی های چلیک های تک لایه مورد مطالعه ٤٤
شکل۳-۲۸: انواع شرایط تکیه گاهی در چلیکهای مورد مطالعه ٤۵
شکل۳-۲۹: محل اعضای دارای ناکاملی در چلیک های تک لایه ٤۵
شکل۳-۳۰: نتایج تحلیل چلیک با رفتار قوسی تحت اثر ناکاملی در طول اعضا ٤٦
شکل۳-۳۱: نتایج تحلیل چلیک با رفتارپوسته ای و تکیه گاه گوشه تحت اثر ناکاملی در طول اعضا..... ٤۷
شکل۳-۳۲: نتایج تحلیل چلیک با رفتارپوسته ای و تکیه گاه محیطی تحت اثر ناکاملی در طول اعضا..... ٤۸
شکل۳-۳۳: نتایج تحلیل چلیک با رفتارتیرگونه تحت اثر ناکاملی در طول اعضا ٤۹

فصل ٤

شکل٤-۱: اثرات غیرخطی ها در پوسته های تک لایه ، پوسته های دو لایه و شبکه های دو لایه فضاکار ۵۳
شکل٤-۲: نمونه‌ای از رفتار تنش محوری- کرنش محوری عضو فشاری ۵۵

شکل٤-٣: خطی سازی تک گامی ٥٦
شکل٤-٤: خطی سازی قطعه به قطعه ٥٧
شکل٤-٥: خطی سازی پله ای ٥٧
شکل٤-٦: نمایش مدلسازی ناکاملی در عضو کوتاه ٥٨
شکل٤-٧: نمایش مدلسازی ناکاملی در عضو بلندتر ٥٨
شکل٤-٨: مدل رفتاری عضو در کشش و فشار ٥٨
شکل٤-٩: مدل رفتاری عضو کوتاه ٥٩
شکل٤-١٠: مدل رفتاری عضو بلند ٥٩
شکل٤-١١: روش نیوتن - رافسون ٦٠
شکل٤-١٢: روش نموی نیوتن- رافسون ٦١
شکل٤-١٣: روش نیوتن- رافسون اصلاح شده ٦١
شکل٤-١٤: روش طول کمان ٦٣

فصل ٥

شکل٥-١: خرابی کلی سازه فضاکار ٦٦
شکل٥-٢: خرابی موضعی با یک فروجهش دینامیکی ٦٧
شکل٥-٣: خرابی موضعی بدون فروجهش ٦٧
شکل٥-٤: مشخصات چلیک در نظر گرفته شده ٦٨
شکل٥-٥: شرایط تکیه گاهی مورد مطالعه برای چلیک دو لایه ٧٠
شکل٥-٦: مشخصات شبکه دو لایه تخت در نظر گرفته شده ٦٩
شکل٥-٧: شرایط تکیه گاهی مورد مطالعه برای چلیک دو لایه ٦٩
شکل٥-٨: نمودار بار تغییر مکان اعضا ٧١
شکل٥-٩: اعضای انتخاب شده برای اعمال ناکاملی در چلیک های دولایه ٧٣
شکل٥-١٠: اعضای انتخاب شده برای اعمال ناکاملی در شبکه های دو لایه تخت ٧٣
شکل٥-١١: نمودار بار-تغییر مکان چلیک دو لایه دارای تکیه گاه های محیطی ٧٤
شکل٥-١٢: موقعیت و ترتیب خرابی اعضای چلیک دو لایه دارای تکیه گاه محیطی ٧٥
شکل٥-١٣: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای محیطی و ناکاملی دراعضای T1 و T2 ..... ٧٦
شکل٥-١٤: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای محیطی و ناکاملی در اعضای T3 و T4 ..... ٧٦
شکل٥-١٥: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای محیطی و ناکاملی در عضو B6 ..... ٧٧
شکل٥-١٦: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای محیطی و ناکاملی در عضو D3 ..... ٧٨
شکل٥-١٧: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای محیطی به ازای ناکاملی های مختلف در عضو T1 ..... ٧٩

شکل۵-۱۸: میزان کاهش ظرفیت باربری چلیک دو لایه دارای تکیه گاه های محیطی به ازای ناکاملی های مختلف ۸۰
شکل۵-۱۹: نمودار بار-تغییر مکان چلیک دو لایه دارای تکیه گاه های کناری ۸۱
شکل۵-۲۰: موقعیت و ترتیب خرابی اعضای چلیک دو لایه دارای تکیه گاه کناری ۸۲
شکل۵-۲۱: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای کناری و ناکاملی دراعضای T1 و T2 ..... ۸۳
شکل۵-۲۲: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای کناری و ناکاملی در اعضای T4 و T5 ..... ۸۳
شکل۵-۲۳: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای کناری و ناکاملی در عضو B6 ..... ۸٤
شکل۵-۲٤: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای کناری و ناکاملی در عضو D3 ..... ۸۵
شکل۵-۲۵ رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای کناری به ازای ناکاملی های مختلف در عضوT3 ..... ۸٦
شکل۵-۲٦: میزان کاهش ظرفیت باربری سازه دارای تکیه گاه های کناری به ازای ناکاملی های مختلف ۸٦
شکل۵-۲۷: نمودار بار-تغییر مکان سازه بدون ناکاملی چلیک دو لایه دارای تکیه گاه لبه ای ۸۸
شکل۵-۲۸: موقعیت و ترتیب خرابی اعضای چلیک دو لایه دارای تکیه گاه لبه ای ۸۹
شکل۵-۲۹: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای لبه ای و ناکاملی در اعضای T1 و T2 ..... ۸۹
شکل۵-۳۰: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای لبه ای و ناکاملی درعضو T7 و T8 ..... ۹۰
شکل۵-۳۱: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای لبه ای و ناکاملی در اعضای T9 و T11، ۹۰
شکل۵-۳۲: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای لبه ای و ناکاملی در اعضای B2 و B6 ..... ۹۱
شکل۵-۳۳: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای لبه ای و ناکاملی در عضو B8 ..... ۹۲
شکل۵-۳٤: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای لبه ای و ناکاملی در اعضای D3 و D4 ..... ۹۳
شکل۵-۳۵: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای لبه ای و ناکاملی در عضو D1 ..... ۹۳
شکل۵-۳٦: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای کناری به ازای ناکاملی های مختلف در عضو T7 ..... ۹٤
شکل۵-۳۷: میزان کاهش ظرفیت باربری سازه به ازای ناکاملی های مختلف ۹۵
شکل۵-۳۸: نمودار بار-تغییر مکان چلیک دو لایه دارای تکیه گاه های گوشه ۹٦
شکل۵-۳۹: موقعیت و ترتیب خرابی اعضای چلیک دو لایه دارای تکیه گاه گوشه ۹۷
شکل۵-٤۰: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای گوشه و ناکاملی درعضو T6 و T7 ..... ۹۸
شکل۵-٤۱: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای گوشه و ناکاملی درعضو T9 و T10 ..... ۹۸
شکل۵-٤۲: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای گوشه و ناکاملی در اعضای B1 و B9 ..... ۹۹
شکل۵-٤۳: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای گوشه و ناکاملی در اعضای B4 و B5 ..... ۱۰۰
شکل۵-٤٤: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای گوشه و ناکاملی در عضو D1 ..... ۱۰۰
شکل۵-٤۵: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای گوشه به ازای ناکاملی های مختلف در عضو ۱۰۱
شکل۵-٤٦: میزان کاهش ظرفیت باربری سازه به ازای ناکاملی های مختلف ۱۰۲
شکل۵-٤۷: نمودار بار-تغییر مکان سازه بدون ناکاملی شبکه دو لایه تخت با تکیه گاه های محیطی ۱۰۳

شکل۵-٤٨: موقعیت و ترتیب خرابی اعضای شبکه دولایه تخت دارای تکیه گاه محیطی ١٠٤
شکل۵-٤٩: رفتار شبکه دو لایه تخت با تکیه گاه های محیطی و ناکاملی دراعضای T1 و T2 ..... ١٠٥
شکل۵-٥٠: رفتار شبکه دو لایه تخت با تکیه گاه های محیطی و ناکاملی درعضو T3 ..... ١٠٥
شکل۵-٥١: رفتار شبکه دولایه تخت با تکیه گاههای محیطی و ناکاملی در عضو B6 ..... ١٠٦
شکل۵-٥٢: رفتار شبکه دولایه تخت با تکیه گاههای محیطی و ناکاملی در عضو D3 ..... ١٠٧
شکل۵-٥٣: رفتار شبکه دو لایه تخت به ازای ناکاملی های مختلف در عضو T1 ..... ١٠٨
شکل۵-٥٤: میزان کاهش ظرفیت باربری سازه به ازای ناکاملی های مختلف ١٠٩
شکل۵-٥٥: نمودار بار-تغییر مکان شبکه دو لایه تخت با تکیه گاه های گوشه ١١٠
شکل۵-٥٦: موقعیت و ترتیب خرابی اعضای چلیک دو لایه دارای تکیه گاه گوشه ١١١
شکل۵-٥٧: رفتار شبکه دو لایه تخت با تکیه گاه های گوشه و ناکاملی دراعضای T3 و T4 ..... ١١٢
شکل۵-٥٨: رفتار شبکه دو لایه با تکیه گاه های گوشه و ناکاملی دراعضای T2 و T5 ..... ١١٢
شکل۵-٥٩: رفتار شبکه دو لایه تخت با تکیه گاه های گوشه و ناکاملی در عضو T9 ..... ١١٣
شکل۵-٦٠: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای کناری و ناکاملی در عضو oB ١١٤
شکل۵-٦١: رفتار چلیک دو لایه با تکیه گاههای گوشه به ازای ناکاملی های مختلف در عضو T5 ..... ١١٥
شکل۵-٦٢: میزان کاهش ظرفیت باربری سازه به ازای ناکاملی های مختلف ١١٥

فهرست جداول

فصل ۵

جدول ۵-۱: درصد کاهش مقاومت سازه چلیک دو لایه با تکیه گاه محیطی تحت ناکاملی در هریک از اعضا..... ۸۰

جدول ۵-۲: درصد کاهش مقاومت سازه چلیک دو لایه با تکیه گاه کناری تحت ناکاملی در هریک از اعضا ۸۶

جدول ۵-۳: درصد کاهش مقاومت سازه چلیک دو لایه با تکیه گاه لبه ای تحت ناکاملی در هریک از اعضا ۹۳

جدول ۵-٤: درصد کاهش مقاومت سازه چلیک دو لایه دارای تکیه گاه های گوشه و ناکاملی در هریک از اعضا..... ۹۹

جدول ۵-۵: درصد کاهش مقاومت شبکه دو لایه تخت با تکیه گاه های محیطی تحت ناکاملی در هریک از اعضا ۱۰۶

جدول ۵-٦: درصد کاهش مقاومت سازه با تکیه گاه گوشه تحت ناکاملی در هریک از اعضا ۱۱۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه ای برسازه‌های فضاکار

استفاده از سازه های فضاکار در ساخت و ساز ساختمانها از حدود ۵۰ سال پیش آغاز شده است. افزایش نیاز جوامع به فضاهای پوشیده وسیع عاری از ستون استفاده از سازه های فضاکار[۱] را در دو دهه اخیر به شدت افزایش داده است. این سازه ها را می توان به عنوان برگی برگرفته از طبیعت دانست، فرم های طبیعی از صلبیت فوق العاده ای برخوردار هستند و از حداقل انرژی برای حداکثر استفاده سازه ای بهره می گبرند. سازه‌های فضاکار سازه‌هایی با عملکرد مسلط سه بعدی هستند به عبارت دیگر مجموعه بافتار[۲]، بارهای وارده، جابجایی‌ها و... همگی در فضای سه بعدی قابل بیان هستند. برای ساخت سازه های فضاکار می توان از مصالح گوناگونی از قبیل فولاد، آلومینیوم، چوب، بتن، کامپوزیت های مسلح شده با الیاف و یا ترکیبی از این مصالح استفاده کرد[۱] .

امروزه از سازه های فضاکار برای پوشش ژیمنازیوم ها، سالن های ورزشی، آشیانه هواپیما، مراکز فرهنگی تفریحی، تالارهای کنفرانس و ... استفاده می شود.

از مزایای این نوع سازه ها می توان به موارد زیر اشاره کرد[۲] :

۱-سازه های فضاکار سبک هستند، بازده سازه ای خوبی دارند و معمولا در آنها از مصالح به صورت بهینه استفاده می شود.

۲-برای پوشش فضاهای بزرگ بدون ستون با کاربری های متنوع، مانند سالن های ورزشی، تالار سخنرانی و ... استفاده از سازه های فضاکار یک روش موثر و اقتصادی می باشد.

۳-سازه های فضاکار بارها را با عمل سه بعدی انتقال می‌دهند. بارهایی که به یک نقطه وارد می‌شوند، فقط بوسیلهٔ عضوهای منتهی به آن نقطه متحمل نمی‌شوند، بلکه با پخش بار در عضوهای متعدد دیگر، آنها هم در تحمل بار کمک می‌کنند. بدین طریق می‌توان بارهای متمرکز سنگین را به هر گره اعمال نمود. این ویژگی، به خصوص در آشیانه‌های نگهداری هواپیما

---

[۱]-Space structure
[۲]-Configration

بسیار مفید است، زیرا امکان آن را می‌دهد که سیستم‌های تعمیر کنندهٔ هواپیما از گره‌ها آویزان شوند و بدین ترتیب انعطاف پذیری قابل توجهی ایجاد می شود.

٤-به دلیل سختی زیاد این سازه‌ها، تغییر مکان‌ها کوچک است. این ویژگی در کاربرد سازه‌های فضاکار به عنوان پشت بند برای آنتن‌های بشقابی، آنتن‌های چند بشقابی و تلسکوپ‌ها حائز اهمیت است، زیرا این سازه‌ها علاوه بر سبکی، نیاز به صلبیت بالایی دارند.

٥- از آنجایی که سازه‌های فضاکار با در کنار هم قرار دادن اجزای دقیق کارخانه‌ای ساخته می‌شوند، کارگر غیر متخصص هم می‌تواند در مونتاژ و اجرای آنها به کار گرفته شود.

٦- خدماتی مانند نورپردازی و تهویه می‌توانند با سازه‌های فضاکار تلفیق شوند و غالباً این تأسیسات روی زمین نصب می‌شوند و بنابراین خطرهای کار در ارتفاع برطرف می‌شود.

٧- زمان ساخت سازه‌های فضاکار کوتاه است، زیرا اجزای آنها در کارخانه و با روش‌های سریع تولید می‌شوند، و پس از حمل به کارگاه به راحتی نصب می‌شوند.

٨- هر کدام از اجزای سازه سبک بوده و این امر حمل و نقل ساده آنها را ممکن می‌سازد.

٩- این سازه‌ها به مهندس معمار آزادی نامحدودی برای تعیین محل تکیه‌گاه‌ها و طراحی زیر مجموعه‌های فضای سرپوشیده می‌دهد.

١٠- به علت سبکی این سازه‌ها، بارهای مرده بسیار کوچک بوده و در نتیجه در ستون‌ها و سایر عضوهای سازه‌ای صرفه جویی می‌شود.

سازه های فضاکار دارای شکل و فرمهای مختلفی هستند که شامل شبکه ها[٣]، چلیک ها[٤]، گنبدها[٥]، دکل ها[٦]، سیستم های غشائی[٧]، سازه های تاشو[٨]، فرم های کش بستی[٩]، و فرمهای آزاد است[٣]. این سازه‌ها بسته به نوع المان‌های تشکیل دهندهٔ آنها و نیز نوع اتصال اعضای آن سازه‌ها به یکدیگر، به سه گروه تقسیم می‌شوند:

١ - سازه‌های فضاکار مشبک که دارای المانهای منفصل می‌باشند.

٢- سازه‌های فضاکار پیوسته نظیر دال‌ها و پوسته‌ها که دارای المانهای پیوسته می‌باشند.

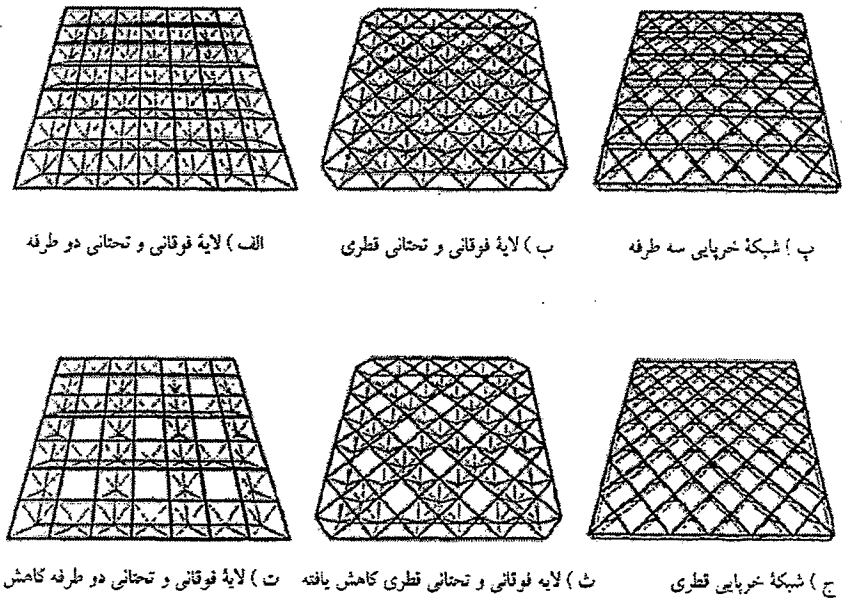
٣- سازه‌های فضاکار ترکیبی که ترکیبی از سازه‌های فضاکار پیوسته و مشبک می‌باشند.

شبکه های دولایه فضاکار از انواع بسیار متداول سازه های فضاکار مشبک هستند. شبکه های دو لایه دارای سختی نسبتا بیشتری نسبت به سازه های تک لایه فضاکار می باشند به همین خاطر در مورد پیکربندی سازه دارای انعطاف پذیری معماری بیشتری می باشند همچنین این مزیت، کوچک بودن تغییر شکل ها در سازه را تضمین می کند در این سازه ها امکان قرار گیری ستون ها در محل های مختلف سازه نیز وجود دارد.

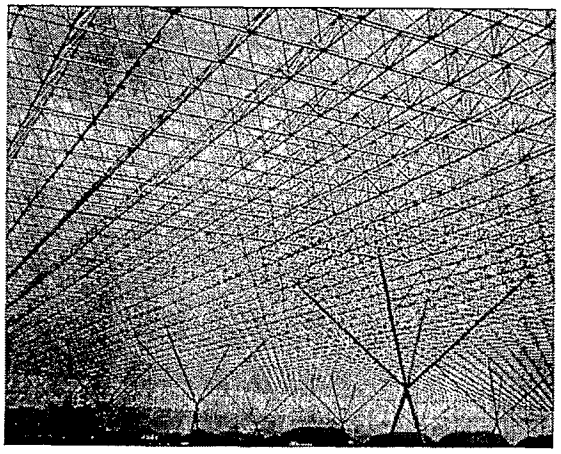
---

[٣] -Grids
[٤] -Barrel valuts
[٥] -Domes
[٦] -Masts
[٧] -Membrane system
[٨] -Foldeble structure
[٩] -Tensigrity structures

شبکه های دو لایه تخت، یک بسط منطقی از شبکه های تک لایه هستند که شامل دو لایه موازی می باشند و بوسیلهٔ اعضای قطری یا قائم جان به هم متصل می شوند . بار گذاری در این سازه ها به صورت نیروهای عمود بر پلان سازه انجام می شود . همچنین با توجه به رفتار خرپایی این سازه ها ، اعضای سازه تحت نیروهای غالب محوری قرار می گیرند. نمونه هائی از پیکر بندی های شبکه های دو لایه تخت در شکل ۱-۱ آورده شده است. در شکل ۱-۲ نیز یک نمونه اجرا شده از این نوع سازه ها نشان داده شده است.

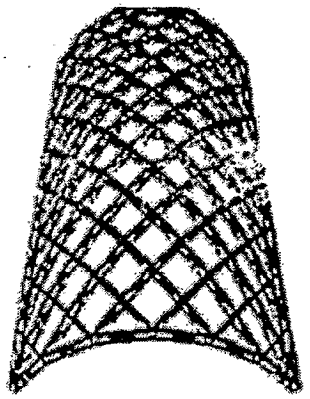


شکل ۱-۱:نمونه هائی از شبکه های دو لایه فضاکار

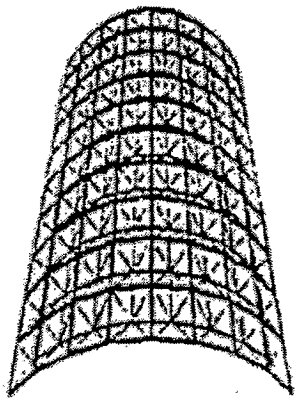


شکل۱-۲: شبکه دو لایه تخت

با انحنا دادن یک طرفه به یک شبکه تخت، نتیجه شکلی استوانه ای خواهد بود که چلیک نامیده شده و می تواند شامل یک ، دو و یا تعداد بیشتری لایه باشد. دو نوع از پیکر بندی های مربوط به این نوع سازه ها در شکل ۱-۳ آورده شده است. در شکل ٤-۱ نیز یک نمونه اجرا شده از چلیک های دو لایه فضاکار نشان داده شده است.



الف)چلیک دو لایه قطری



ب)چلیک دو لایه با آرایش مربع روی مربع

شکل۱-۳: بافتار های چلیک دو لایه

شکل ۱-٤: نمونه ای از چلیک دو لایه

۱-۲-مطالعه تاثیر ناکاملی در سازه های فضاکار:

خرپاهای فضایی معمولاً از درجهٔ نامعینی استاتیکی بالایی برخوردار بوده و بر همین اساس تصور می شود که پس از خرابی عضو یا بخشی از سازه ، سایر قسمتهای آن بتوانند نیروهای بازتوزیع شده را به راحتی جذب کرده و حتی بار بیشتری را نیز تحمل نمایند . اما شواهد تجربی موجود از قبیل ، خرابی سقف شبکهٔ دو لایهٔ فضاکار سالن ورزشی هارتفورد[۱۰] و همچنین نتایج آزمایشهای متعددی که در این زمینه انجام گرفته است صحت این ادعا را مورد تردید قرار می دهد[۲]. بر طبق این تحقیقات در برخی موارد حتی خرابی یک عضو سازه می تواند خرابی متوالی اعضای دیگر سازه را به طور ناگهانی در پی داشته و نهایتاً منجر به خرابی کل سازه شود.

در سازه‌های فضاکار خرپائی، رفتار اعضا تأثیر اساسی در رفتار کلی سازه دارد. چراکه در این سازه‌ها، اعضا تحت نیروهای محوری قرار گرفته و امکان خرابی عضو در اثر گسیختگی اعضای کششی و یا کمانش اعضای فشاری وجود دارد. با خرابی یک عضو سازه‌ای، رفتار آن عضو از مشخصه‌های پس بحرانی تبعیت می‌کند که ممکن است این حالت ناپایداری محلی، موجب خرابی بخش کوچکی از سازه گردد. یا به عبارت دیگر خرابی موضعی باشد و یا اینکه انتشار یافته و به بقیه قسمتهای سازه گسترش یابد یعنی خرابی پیشرونده باشد. در مبحث تحلیل ایستایی خرابی با در نظر گرفتن پدیده کمانش عضوی،

[۱۰] Hartford

مکانیزم خرابی به مشخصه فرو ریزی بار در ناحیه پس کمانشی بستگی دارد. بطوریکه اگر سختی پس کمانشی منفی عضو فشاری بزرگ بوده (یعنی فروریزی بار سریع باشد)و اعضای مجاور عضو کمانش یافته ضعیف باشند در این حالت پس از باز توزیع نیرو، اعضای فشاری ممکن است نتوانند بارهای اضافی را تحمل نمایند. در نتیجه ضمن کمانش، باعث باز توزیع مجدد نیروها می‌گردند. در این صورت، خرابی در سازه منتشر خواهد شد. اگر مشخصه فرو ریزی اعضای فشاری سریع و ناگهانی نباشد، به هنگام فرایند بازتوزیع نیرو، سایر اعضا می‌توانند بارهای باز توزیع شده را تحمل و جذب نمایند، لذا حالت تعادل سازه پایدار بود، وسازه می‌تواند بارهای اضافی را تحمل نماید تا سایر اعضا کمانش کنند و خرابی کلی پیش آید.
وجود ناکاملی در سازه های فضاکار باعث تغییر نیروی داخلی اعضا و به تبع آن تفاوت نیروها با آنچه در تحلیل ها در نظر گرفته شده است می گردد. این مسئله می تواند باعث ایجاد خرابی های زودرس در تراز بار کمتر از آنچه در نظر گرفته شده است گردد و باعث ایجاد خرابی موضعی یا حتی خرابی پیشرونده در سازه شود.
با توجه به موارد فوق جا دارد تاثیر انواع ناکاملی ها در رفتار خرابی سازه های فضاکار مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

۱-۳- اهداف پروژه

سازه های فضاکار سازه های با تعداد اعضا و اتصالات بسیار بالا بوده و بر این اساس وجود ناکاملی ها در این نوع سازه ها مسئله ای غیر قابل اجتناب بوده و ضروری است تاثیر ناکاملی ها در روی رفتار خرابی این نوع سازه ها مشخص شود و با اعمال یک سری ضرایب اطمینان در طراحی و یا تعیین رواداری هائی برای ناکاملی ها تاثیر منفی آنها را در سازه به حداقل رساند.
اهداف مهم پروژه حاضر عبارتند از :

- تعیین میزان حساسیت سازه های مورد مطالعه نسبت به وجود ناکاملی در اعضای مختلف آن
- تعیین محل اعضای بحرانی سازه که وجود ناکاملی در آنها بیشترین تاثیر را در مقاومت نهائی سازه دارد
- ارائه توصیه هائی برای کاهش حساسیت سازه نسبت به وجود ناکاملی در طول اعضای آن و پیشگیری از اثرات مخرب مربوطه

۱-٤- رئوس مطالب پایان نامه

مطالب این تحقیق در شش فصل تنظیم شده است. در فصل اول خلاصه ای از سازه های فضاکار و دلایل انجام این تحقیق به طور خلاصه آورده شده است. در فصل دوم شرحی از انواع ناکاملی های ممکن در این سازه ها و تاثیر این ناکاملی ها در روی سازه ارائه گردیده است. در فصل سوم ادبیات فنی موجود در زمینه تاثیر ناکاملی در طول اعضا، در روی رفتار سازه جمع آوری شده است. در فصل چهارم روند مدل سازی عناصر محدود و تحلیل خرابی شبکه های دو لایه فضاکار تشریح گردیده است. فصل پنجم مربوط به بررسی حساسیت سازه به وجود ناکاملی در طول اعضای مختلف آن می باشد. در این فصل رفتار بار- تغییر مکان بافتار های نمونه مشخص گردیده و تأثیر وجود ناکاملی در طول اعضای مختلف بر ظرفیت نهائی سازه مشخص گردیده است.
فصل ششم، شامل نتیجه گیری ها، توصیه های طراحی و اجرائی پیشنهاداتی برای تحقیقاتی آتی در زمینه بررسی حساسیت سازه ها نسبت به وجود انواع ناکاملی ها می باشد.