بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی هوافضا

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

الگوریتم طراحی مهندسی فضاپیمای سرنشین‌دار با استفاده از مدل‌های آماری و پارامتری

لیلا خلج‌زاده

۸۶۰۱۷۹۴

استاد راهنما: دکتر مهران میرشمس

تابستان ۱۳۸۹

تقدیم به پدر و مادرم

چکیده

از ابتدای عصر فضا تا کنون فضاپیماهای زیادی به مرحله ساخت و پرتاب رسیده‌اند که در بین آنها تعداد محدودی سرنشین‌دار بوده‌اند. گروهی از فضاپیماهای سرنشین‌دار با یک تا سه سرنشین می‌توانند برای چند روز به مدارهای پایینی زمین پرواز کنند. این فضاپیماها از چند مدول تشکیل شده‌اند که یکی از آنها (کپسول بازگشتی) به زمین باز می‌گردد. در الگوریتم طراحی فضاپیمای سرنشین دار با بهره گیری از مدل‌های آماری و پارامتری، فضاپیمای سرنشین‌داری از این دست در سطح مقدماتی طراحی می‌شود. مطابق با این روندنما، ابتدا ویژگی‌های فضاپیماهای گروه هدف و ماموریت آنها مرور می‌شود تا نیازمندی‌های سطح سیستم برای طراحی فضاپیمای سرنشین‌دارِ در دست طراحی با نام دوستی استخراج شود. در استخراج نیازمندی‌ها، همچنین، نیازهای داخلی در پروفایل ماموریت و در نهایت در نیازمندی‌های طراحی وارد می‌شود. سپس، ویژگی‌های سطح سیستم فضاپیمای دوستی تعیین و بودجه‌های جرم و توان برقرار می‌شوند. طراحی زیرسیستم‌های اصلی فضاپیما با به کارگیری روش‌های طراحی مهندسی و مراجعه به ویژگی‌های فضاپیماهای گروه هدف در مرحله بعد انجام می‌گیرد. پس از طی این مراحل، طرح حاصل از طراحی در سطح سیستم و زیرسیستم سبک و سنگین می‌شود و بودجه‌های جرم و توان مورد ارزیابی دوباره قرار می‌گیرد. در پایان، ویژگی‌های طرح نهایی با مدل‌های آماری صحت‌سنجی می‌شود تا اصلاحات لازم اعمال و طرح نهایی ارائه شود.

فهرست مطالب

مقدمه ۱

فصل ۱ مرور ویژگی‌های فضاپیماهای سرنشین‌دار ۷

۱-۱- فضاپیمای واستوک ۸

۱-۲- فضاپیمای واسخود ۱۰

۱-۲-۱- واسخود ۱ ..... ۱۲

۱-۲-۲- واسخود ۲ ..... ۱۳

۱-۳- فضاپیمای سایوز ۱۵

۱-۳-۱- بخش‌های تشکیل دهندهٔ فضاپیمای سایوز ۱۵

۱-۳-۲- نسخه‌های فضاپیمای سایوز ۱۷

۱-۳-۳- پروفایل ماموریت فضاپیمای سایوز تی‌ام‌ای ۲۳

۱-۳-۴- مدول‌های فضاپیمای سایوز ۲۹

۱-۳-۵- زیرسیستم‌های سایوز ۳۸

۱-۴- فضاپیمای شنژو ۵۷

۱-۴-۱- ماموریت‌های فضاپیمای شنژو ۵۸

۱-۴-۲- طرح فضاپیمای شنژو و مدول‌های آن ۶۴

۱-۴-۳- زیرسیستم‌های شنژو ۶۹

۱-۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری فصل ۷۵

فصل ۲ طراحی سیستمی فضاپیمای سرنشین‌دار دوستی ۷۶

۲-۱- نگاه سیستمی به فضاپیما ۷۶

۲-۱-۱ مهندسی سیستم ۷۷

۲-۱-۲- تخمین اولیه نیازها، الزامات و محدودیت‌های ماموریت ۷۸

۲-۲- الگوریتم طراحی سیستمی فضاپیمای سرنشین‌دار دوستی ۷۸

۲-۲-۱- اهداف ۷۸

۲-۲-۲- الگوریتم طراحی ۷۹

۲-۲-۳- مشکلات و محدودیت‌های طراحی سیستمی با استفاده از مدل‌های آماری ۸۱

۲-۲-۴- پروفایل ماموریت فضاپیما ۸۱

۲-۲-۵- پرتابگر ۸۴

۲-۲-۶- نیازمندی‌های سیستمی ۸۴

۲-۲-۷- سیستم فضاپیمای سرنشین‌دار دوستی ۹۱
۲-۲-۸- تحلیل آمار ۹۲
۲-۲-۹- استخراج شکل و ابعاد فضاپیما ۹۸
۲-۲-۱۰- تخمین مشخصات جرمی فضاپیما ۱۰۰

فصل ۳ طراحی زیرسیستم‌ها ۱۰۲

۳-۱- زیرسیستم پیشرانش ۱۰۲
۳-۱-۱- انواع سیستم‌های پیشرانش ۱۰۲
۳-۱-۲- مانورهای ماموریتی فضاپیما ۱۰۳
۳-۱-۳- انتخاب پیشرانه ۱۰۸
۳-۱-۴- محاسبه جرم سوخت مصرفی ۱۰۹
۳-۱-۵- انتخاب موتور ۱۱۰
۳-۲- زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت ۱۱۲
۳-۲-۱- مدهای عملیاتی فضاپیما ۱۱۲
۳-۲-۲- انتخاب روش پایدارسازی ۱۱۳
۳-۲-۳- گشتاورهای اغتشاشی ۱۱۶
۳-۲-۴- اندازه گذاری سیستم کنترل وضعیت ۱۲۲
۳-۲-۵- سخت افزارهای زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت ۱۲۸
۳-۲-۶- سیستم کنترلی ۱۲۹
۳-۲-۷- عملگرهای کنترل وضعیت ۱۳۰
۳-۲-۸- تخمین جرم و توان مصرفی اجزای زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت ۱۳۳
۳-۳- زیرسیستم کنترل حرارت ۱۳۴
۳-۳-۱- محدوده مجاز دمای عملکردی تجهیزات ۱۳۴
۳-۳-۲- اتلاف توان تجهیزات الکتریکی ۱۳۶
۳-۳-۳- انتخاب خواص تشعشعی سطح فضاپیما ۱۳۷
۳-۳-۴- محاسبه قطر کره فضاپیما ۱۳۸
۳-۳-۵- محاسبه بدترین دمای سرد و بدترین دمای گرم ۱۳۸
۳-۳-۶- اندازه‌گذاری رادیاتور ۱۴۰
۳-۳-۷- ویژگی‌های کلی زیرسیستم کنترل حرارت ۱۴۳
۳-۳-۸- تخمین جرم و توان اجزای زیرسیستم کنترل حرارت ۱۴۶
۳-۴- زیرسیستم کنترل محیطی و پشتیبانی حیات ۱۴۸
۳-۴-۱- زیرسیستم‌های اصلی سیستم کنترل محیطی و پشتیبانی حیات ۱۴۹
۳-۴-۲- تنظیمات زیرسیستم پشتیبانی حیات فضاپیمای دوستی ۱۵۰
۳-۴-۳- تجهیزات زیرسیستم پشتیبانی حیات فضاپیمای سرنشین‌دار دوستی ۱۵۱

۳-۵- زیرسیستم توان الکتریکی ۱۵۲
۳-۵-۱- تعیین نیازمندی‌ها ۱۵۲
۳-۵-۲- شناسایی و اندازه‌گذاری منبع توان ۱۵۴
۳-۵-۳- انتخاب و اندازه‌گذاری منبع ذخیره انرژی ۱۵۶
۳-۵-۴- واحد کنترل و تنظیم توان ۱۵۷
۳-۵-۵- تخمین بودجه جرمی و توانی زیرسیستم توان ۱۵۸
۳-۶- زیرسیستم مخابراتی و رهگیری و فرمان ۱۵۹
۳-۶-۱- تخمین وزن و توان مصرفی زیرسیستم و اجزای آن ۱۶۲
۳-۷- زیرسیستم سازه، حفاظت حرارتی و حفاظت تشعشعی ۱۶۳
۳-۷-۱- شکل سازه ۱۶۳
۳-۷-۲- جنس سازه ۱۶۴
۳-۷-۳- تخمین جرم زیرسیستم سازه ۱۶۶
۳-۷-۴- دستگاه مختصات ۱۶۶
۳-۷-۵- پارامترهای جرمی ۱۶۷
۳-۷-۶- نیازمندی‌های پرتابگر ۱۶۸
۳-۷-۷- حفاظت تشعشعی ۱۶۹
۳-۷-۸- ویژگی‌های کلی زیرسیستم سازه، حفاظت حرارتی و حفاظت تشعشعی ۱۷۲
۳-۸- زیرسیستم بازیابی و فرود ۱۷۳
۳-۸-۱- سیستم فرود ۱۷۳
۳-۸-۲- سیستم رهایی پرتاب ۱۷۴
۳-۸-۳- تخمین جرم و توان زیرسیستم ۱۷۵

فصل ۴ ارائه طرح سیستمی فضاپیمای دوستی ۱۷۶

۴-۱- بودجه‌بندی‌ها ۱۷۷
۴-۱-۱- ارزیابی بودجه‌بندی توان ۱۷۸
۴-۱-۲- ارزیابی بودجه‌بندی جرمی ۱۸۰
۴-۲- صحت سنجی طرح سیستمی فضاپیمای دوستی ۱۸۲
۴-۲-۱- پیشرانش و کنترل عکس العملی ۱۸۲
۴-۲-۲- کنترل حرارت ۱۸۳
۴-۲-۳- زیرسیستم توان الکتریکی ۱۸۳
۴-۲-۴- زیرسیستم پشتیبانی حیات ۱۸۴
۴-۲-۵- زیرسیستم مخابراتی ۱۸۴
۴-۲-۶- زیرسیستم سازه، حفاظت حرارتی و حفاظت تشعشعی ۱۸۴
۴-۲-۷- زیرسیستم فرود ۱۸۵

۴-۳- طرح نهایی فضاپیمای دوستی..... ۱۸۶

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۹۰

پیشنهادات ۱۹۲

مراجع ۱۹۳

پیوست..... ۱۹۶

فهرست جدول‌ها

جدول ۱ فضاپیماهای سرنشین‌دار جهان ۳

جدول ۱-۱ ویژگی‌های فضاپیمای واستوک ۸

جدول ۱-۲ ویژگی‌های فضاپیمای واسخود ۱۱

جدول ۱-۳ ویژگی‌های فضاپیمای واسخود ۱ ..... ۱۲

جدول ۱-۴ ویژگی‌های فضاپیمای واسخود ۲ ..... ۱۴

جدول ۱-۵ مقایسه ویژگی‌های جرمی و ابعادی نسخه های فضاپیمای سایوز ۱۷

جدول ۱-۶ مقایسه ویژگی‌های فنی نسخههای فضاپیمای سایوز ۱۸

جدول ۱-۷ بودجه‌بندی جرمی سایوز ASTP ۲۰

جدول ۱-۸ ویژگی‌های فضاپیمای سایوز تی‌ام‌ای ۲۲

جدول ۱-۹ مقایسه شرایط وزنی و ابعادی بدن فضانوردان در دو نسخه اخیر سایوز ۲۳

جدول ۱-۱۰ تجهیزات قرار گرفته در مدول مداری فضاپیمای سایوز ۳۰

جدول ۱-۱۱ ویژگی‌های مدول بازگشتی فضاپیمای سایوز ۳۲

جدول ۱-۱۲ تجهیزات قرار گرفته در مدول بازگشتی فضاپیمای سایوز ۳۴

جدول۱ -۱۳ ویژگی‌های مدول پیشرانش فضاپیمای سایوز ۳۶

جدول ۱-۱۴ تجهیزات قرار گرفته در مدول خدمات سایوز ۳۸

جدول ۱-۱۵ اجزای زیرسیستم کنترل وضعیت سایوز ۴۳

جدول ۱-۱۶ تراسترهای مدل‌های اولیه فضاپیمای سایوز ۴۴

جدول ۱-۱۷ ویژگی‌های زیرسیستم توان الکتریکی نسخه‌های فضاپیمای سایوز ۴۷

جدول ۱-۱۸ مشخصات کلی زیرسیستم کنترل حرارت فضاپیمای سایوز ۴۸

جدول ۱-۱۹ سیستم مخابرات و رهگیری فضاپیمای سایوز ۱ ..... ۵۰

جدول ۱-۲۰ شرایط فیزیکی محیط کابین سایوز ۵۱

جدول ۱-۲۱ ویژگی سیستم‌های چتر کپسول بازگشتی سایوز ۵۵

جدول ۱-۲۲ ویژگی‌های فضاپیمای شنژو ۵۷
جدول ۱-۲۳ ویژگی‌های مدول مداری شنژو ۶۵
جدول ۱-۲۴ ویژگی‌های مدول بازگشتی شنژو ۶۶
جدول ۱-۲۵ ویژگی‌های مدول خدمات شنژو ۶۹
جدول ۲ـ۱ مشخصه‌های اصلی سیستم فضایی فضاپیمای سرنشین‌دار دوستی ۸۵
جدول ۲ـ۲ نیازمندی‌های پرتابگر ۸۵
جدول ۲ـ۳ نیازمندی‌های بخش فضایی ۸۵
جدول ۲ـ۴ نیازمندی‌های زیرسیستم سازه، حفاظت حرارتی و حفاظت تشعشعی ۸۶
جدول ۲ـ۵ نیازمندی‌های زیرسیستم پیشرانش ۸۷
جدول ۲ـ۶ نیازمندی‌های زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت ۸۷
جدول ۲ـ۷ نیازمندی‌های زیرسیستم کنترل محیطی و پشتیبانی حیات ۸۷
جدول ۲ـ۸ نیازمندی‌های زیرسیستم کنترل حرارت ۸۸
جدول ۲ـ۹ نیازمندی‌های زیرسیستم توان ۸۸
جدول ۲ـ۱۰ نیازمندی‌های زیرسیستم مخابرات ۸۸
جدول ۲ـ۱۱ نیازمندی‌های زیرسیستم بازیابی و فرود ۸۹
جدول ۲ـ۱۲ مدهای عملیاتی (کنترلی) فضاپیما ۸۹
جدول ۲ـ۱۳ نیازمندی‌های مد فعال سازی اولیه ۸۹
جدول ۲ـ۱۴ نیازمندی‌های مد استقرار در مدار ۹۰
جدول ۲ـ۱۵ نیازمندی‌های مد عملیاتی ۹۰
جدول ۲ـ۱۶ نیازمندی‌های مد چرخش ۹۰
جدول ۲ـ۱۷ نیازمندی‌های مد ایمنی ۹۱
جدول ۲-۱۸ مقایسه ویژگی‌های کلی فضاپیماهای گروه هدف ۹۳
جدول ۲-۱۹ مقایسه ابعادی فضاپیماهای گروه هدف ۹۳
جدول ۲-۲۰ مقایسه جرمی فضاپیماهای گروه هدف ۹۴

جدول ۲-۲۱ مقایسه مدول های فضاپیماهای گروه هدف ۹۴
جدول ۲-۲۲ شکل و ابعاد کلی فضاپیمای سرنشین‌دار دوستی ۹۸
جدول ۲-۲۳ ویژگی‌های جرمی فضاپیما ۱۰۰
جدول ۲-۲۴ تخمین جرمی وسیله بازگشتی بر حسب جرم خشک وسیله ۱۰۰
جدول ۲-۲۵ گمانه‌زنی بودجه‌بندی جرمی فضاپیمای دوستی ۱۰۱
جدول ۳-۱ ویژگی‌های چند موتور متداول دوگانه‌سوز هیدرازینی ۱۱۰
جدول ۳-۲ ویژگی‌های سیستم اصلی پیشرانش فضاپیمای دوستی ۱۱۱
جدول ۳-۳ ماتریس پایداری ماموریت ۱۱۴
جدول ۳-۴ مقایسه روش‌های کنترل وضعیت ۱۱۴
جدول ۳-۵ تاثیر جهت نشانه‌روی محموله بر طراحی زیرسیستم کنترل وضعیت با پایداری سه محوره ۱۱۶
جدول ۳-۶ ویژگی‌های چرخ‌های عکس‌العملی ۱۲۴
جدول ۳-۷ حسگرهای متداول و عملکرد آنها ۱۲۹
جدول ۳-۸ عملگرهای متداول کنترل وضعیت ۱۳۱
جدول ۳-۹ جرم و توان اجزای زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت ۱۳۳
جدول ۳-۱۰ اجزای زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت فضاپیمای دوستی ۱۳۳
جدول ۳-۱۱ دامنه دمایی معمول برای شماری از اجزای فضاپیما ۱۳۵
جدول ۳-۱۲ محدوده دمایی تجهیزات ۱۳۵
جدول ۳-۱۳ خواص تشعشعی مواد ۱۳۷
جدول ۳-۱۴ اندازه گذاری رادیاتور با لوله حرارتی برای دمای متوسط ۴۰ درجه سانتیگراد ۱۴۲
جدول ۳-۱۵ ویژگی‌های کلی زیرسیستم کنترل حرارت فضاپیمای دوستی ۱۴۴
جدول ۳-۱۶ جرم و توان اجزای متداول زیرسیستم کنترل حرارت ۱۴۷
جدول ۳-۱۷ گمانه‌زنی جرم و توان اجزای زیرسیستم کنترل حرارت فضاپیمای دوستی ۱۴۷
جدول ۳-۱۸ زیرسیستم‌های اصلی سیستم پشتیبانی حیات و وظایف آنها ۱۴۹
جدول ۳-۱۹ مرور شماری پارامترهای قابلیت سکونت در فضاپیماهای سرنشین‌دار ۱۵۰

جدول ۳-۲۰ تنظیمات عوامل حیاتی در زیرسیستم پشتیبانی حیات فضاپیمای دوستی ۱۵۱
جدول ۳-۲۱ تجهیزات مورد نیاز در زیرسیستم پشتیبانی حیات فضاپیمای دوستی ۱۵۱
جدول ۳-۲۲ راهنمای اختصاص توان به زیرسیستم‌ها ۱۵۲
جدول ۳-۲۳ توان مصرفی تخمینی زیرسیستم‌های فضاپیمای بزرگ ۱۵۳
جدول ۳-۲۴ ویژگی‌های باتری‌های ثانویه ۱۵۷
جدول ۳-۲۵ بودجه وزنی و توانی برای اجزای زیرسیستم توان فضاپیمای دوستی ۱۵۸
جدول ۳-۲۶ نتایج محاسبات بودجه لینک سیستم تلمتری VHF ۱۵۹
جدول ۳-۲۷ نتایج محاسبات بودجه لینک سیستم تلویزیونی UHF ۱۶۱
جدول ۳-۲۸ جزئیات وزن، توان مصرفی و حجم اجزای زیرسیستم مخابراتی فضاپیمای دوستی ۱۶۲
جدول ۳-۲۹ بخش‌های اصلی سازه فضاپیمای دوستی و تجهیزات قرار گرفته در هر یک ۱۶۳
جدول ۳-۳۰ خواص کلی آلومینیم ۱۶۴
جدول ۳-۳۱ ویژگی‌های آلیاژهای آلومینیم ۷۰۷۵ با عملیات حرارتی مختلف ۱۶۵
جدول ۳-۳۲ تابش‌های خطرناک در فضا و منبع آنها ۱۶۹
جدول ۳-۳۳ مواد پلیمری سبک وزن برای کاربردهای فضایی ۱۷۰
جدول ۳-۳۴ ترکیبات پیشنهادی برای حفاظت تشعشعی فضاپیمای دوستی ۱۷۲
جدول ۳-۳۵ ویژگی‌های کلی زیرسیستم سازه حفاظت حرارتی و حفاظت تشعشعی فضاپیمای دوستی ۱۷۲
جدول ۴-۱ فنون مهندسی سیستم ۱۷۷
جدول ۴-۲ نتایج اصلاح طرح زیرسیستم توان الکتریکی ۱۷۸
جدول ۴-۳ نتایج تاثیر اصلاح طرح زیرسیستم توان بر زیرسیستم کنترل حرارت ۱۷۹
جدول ۴-۴ نتایج تاثیر اصلاح طرح زیرسیستم توان بر زیرسیستم سازه ۱۷۹
جدول ۴-۵ نتایج تاثیر اصلاح طرح زیرسیستم توان بر زیرسیستم پیشرانش ۱۷۹
جدول ۴-۶ نتایج تاثیر اصلاح طرح زیرسیستم توان بر زیرسیستم کنترل وضعیت ۱۸۰
جدول ۴-۷ مقایسه بودجه‌بندی جرمی فضاپیمای در دست طراحی با جرم محاسباتی زیرسیستم‌ها ۱۸۱
جدول ۴-۸ مقایسه ویژگی‌های زیرسیستم پیشرانش فضاپیمای دوستی با فضاپیماهای گروه هدف ۱۸۲

جدول ۴-۹ مقایسه ویژگی‌های سیستم کنترل عکس‌العملی فضاپیمای دوستی با فضاپیماهای گروه هدف ۱۸۲
جدول ۴-۱۰ مقایسه ویژگی‌های زیرسیستم توان الکتریکی فضاپیمای دوستی با فضاپیماهای سایوز و شنژو... ۱۸۳
جدول ۴-۱۱ مقایسه ویژگی‌های سپر حرارتی فضاپیمای دوستی با فضاپیماهای گروه هدف ۱۸۵
جدول ۴-۱۲ مقایسه ویژگی‌های سیستم چتر فضاپیمای دوستی با فضاپیماهای سایوز و شنژو ۱۸۵
جدول ۴-۱۳ ویژگی‌های نهایی فضاپیمای سرنشین‌دار دوستی ۱۸۶
جدول ۴-۱۴ ویژگی‌های نهایی مدول بازگشتی فضاپیمای دوستی ۱۸۷
جدول ۴-۱۵ ویژگی‌های نهایی مدول تجهیزات فضاپیمای دوستی ۱۸۸

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ فضاپیمای واستوک و آرایش داخلی آن ۱۰

شکل ۱-۲ مقایسه فضاپیماهای واستوک و واسخود ۱۱

شکل ۱-۳ مدول های فضاپیمای سایوز ۱۶

شکل ۱-۴ پرتابگر سایوز ساخته شده بر اساس موشک آر-۷ ..... ۲۵

شکل ۱-۵ پروفایل پرتاب و بازگشت فضاپیمای سایوز که از سال ۱۹۶۷ به میزان کمی تغییر کرده است ۲۷

شکل ۱-۶ کپسول بازگشتی سایوز پس از باز شدن کامل چتر اصلی ۲۸

شکل ۱-۷ مدول مداری فضاپیمای سایوز ۲۹

شکل ۱-۸ پنل تجهیزات داخل مدول بازگشتی ۳۱

شکل ۱-۹ جزئیات داخل مدول بازگشتی فضاپیمای سایوز ۳۳

شکل ۱-۱۰ جزئیات مدول بازگشتی سایوز، سپر حرارتی جدا شده و تجهیزات فرود آرام در زیر آن ۳۴

شکل ۱-۱۱ آرایش بخش اسمبلی و تجهیزات مدول خدمات سایوز ۳۶

شکل ۱-۱۲ مدول پیشرانش فضاپیمای سایوز ۳۷

شکل ۱-۱۳ (چپ) مکان تراسترهای سیستم کنترل فرود در مدول بازگشتی ۴۲

شکل ۱-۱۴ مکان آنتن‌ها، تراسترها و حسگرهای فضاپیمای سایوز ۱ ..... ۴۲

شکل ۱-۱۵ مکان تراسترهای سیستم کنترل وضعیت سایوز۱ ..... ۴۳

شکل ۱-۱۶ موقعیت تقریبی حسگرهای سیستم کنترل وضعیت و محوریابی آنها در فضاپیمای سایوز اولیه ۴۴

شکل ۱-۱۷ سیستم اولیه پهلوگیری سایوز تشکیل شده از لولا و مخروط ساده ۴۶

شکل ۱-۱۸ سیستم پشتیبانی حیات سایوز ۵۲

شکل ۱-۱۹ جزئیات باز شدن سیستم چتر اصلی سایوز ۵۶

شکل ۱-۲۰ پروفایل پرواز فضاپیمای شنژو ۶۲

شکل ۲-۱ الگوریتم طراحی فضاپیمای سرنشین‌دار دوستی بر اساس مدل‌های آماری و پارامتری ۸۰

شکل ۲-۲ سیستم کلی فضاپیمای سرنشین‌دار دوستی ۹۱

شکل ۲-۳ زیرسیستم‌های قرار گرفته در هر یک از مدول‌های فضاپیمای سرنشین‌دار دوستی ۹۲
شکل ۲-۴ نسبت طول به قطر ۹۶
شکل ۲-۵ نسبت طول کل به طول مدول بازگشتی ۹۶
شکل ۲-۶ نسبت طول کل به طول مدول تجهیزات ۹۶
شکل ۲-۷ مقایسه جرمی مدول بازگشتی به جرم کل (راست: نسبت جرمی) ۹۷
شکل ۲-۸ مقایسه جرمی مدول پیشرانش به جرم کل (راست: نسبت جرمی) ۹۷
شکل ۲-۹ مقایسه مجموع جرم مدول‌های پیشرانش و بازگشتی به کل (راست: نسبت جرمی) ۹۷
شکل ۲-۱۰ ابعاد بیرونی فضاپیمای دوستی ۹۹
شکل ۲-۱۱ مدول بازگشتی فضاپیمای دوستی از ابعاد مختلف ۹۹
شکل ۲-۱۲ تصویر از کنار و روبروی فضاپیمای سرنشین‌دار دوستی ۹۹
شکل ۳-۱ نسبت جرم پیشرانه بر حسب تغییر سرعت برای چند ضربه ویژه متداول ۱۰۹
شکل ۳-۲ جانمایی کلی موتور اصلی فضاپیما و مخازن سوخت (دو تا) و اکسیدکننده (دو تا) ۱۱۱
شکل ۳-۳ محل قرارگیری شانزده تراستر مدول پیشرانش ۱۳۲
شکل ۳-۴ نتایج بهینه سازی رادیاتور با لوله حرارتی به عنوان تابعی از دمای بخار ۱۴۳
شکل ۳-۵ ورودی و خروجی‌های بدن انسان به صورت متوسط روزانه ۱۴۸
شکل ۳-۶ صفحات خورشیدی زیرسیستم توان فضاپیمای دوستی ۱۵۶
شکل ۳-۷ دوز کاهش تابش‌ها برای چند ماده پلیمری ۱۷۱
شکل ۳-۸ هم ارزی دوز تابش‌های کیهانی بر حسب ضخامت پوشش برای چند ماده گوناگون ۱۷۱
شکل ۳-۹ سکانس باز شدن چتر ۱۷۴
شکل ۴-۱ کپسول بازگشتی فضاپیمای دوستی ۱۸۷
شکل ۴-۲ مدول تجهیزات فضاپیمای دوستی ۱۸۸
شکل ۴-۳ طرح نهایی فضاپیمای سرنشین‌دار دوستی ۱۸۹

مقدمه

نخستین باری که انسان مرز فضا را درنوردید، دوازدهم آوریل ۱۹۶۱ بود. فضاپیمای واستوک[1] که گاگارین را در خود داشت توانست تا مدار زمین پیش برود و در گردشی ۱۰۸ دقیقه‌ای نخستین پرواز فضایی سرنشین‌دار را به نام خود ثبت کند. این فضاپیمای کروی می‌توانست یک فضانورد را به مدت ۱۰ روز در فضا نگه دارد. متخصصان فضایی شوروی در طراحی و ساخت این فضاپیما از ساده‌ترین و کارآمدترین فناوری‌های موجود آن زمان بهره گرفتند.

به دنبال واستوک، مرکوری[2] نخستین کپسول سرنشین‌دار ایالات متحده پا به عرصه گذاشت. پس از آن، واسخود[3] مدل بهبود یافته واستوک و جمینی[4] تکمیل شده مرکوری یک به یک ساخته شدند تا در زمینه پروازهای فضایی سرنشین‌دار خدمات‌رسانی کنند. واسخود نسبت به واستوک این برتری را داشت که امکان راهپیمایی فضایی را برای سرنشین خود فراهم می‌کرد. جمینی قابلیت حمل دو انسان را داشت در حالی که مرکوری تک نفره بود[۵۲].

در کنار کپسول‌های فضایی، هواپیماهایی نیز توسعه پیدا کردند که تا مرز فضا پیش رفتند. نخستین آنها هواپیمای اکس-۱۵[5] بود که با رسیدن به سرعت صوت تا مرز فضا پیش رفت.

در دهه شصت میلادی، امریکایی‌ها طرح سفر به ماه را مطرح کردند. فضاپیمای آپولو[6] با قابلیت پرواز طولانی‌تر در فضا و حمل محموله بیشتر طراحی شد. طرح‌های اولیه این فضاپیما با استفاده از تجارب به دست آمده در برنامه‌های مرکوری و

---

1. Vostok
2. Mercury
3. Voskhod
4. Gemini
5. X-15
6. Apollo

جمینی ریخته شد. آپولو طرح سه مدوله داشت و طرح آن الگویی برای توسعه موفق‌ترین فضاپیمای مداری یعنی سایوز[1] شد.

سایوز-۱ نخستین پرواز خود را در آوریل ۱۹۶۷ به نمایش گذاشت. طرح سایوز طی سال‌ها مرتبا بهبود یافت، به گونه‌ای که در طی سی سال هشت مدل از آن ارائه شد. آخرین مدل آن با نام تی‌ام‌ای-ام قرار است در سال‌های آتی به دنیا معرفی شود.

تا پیش از شاتل فضایی، تمامی فضاپیماهای سرنشین‌دار ساخته شده از الگوی نسبتا ثابتی پیروی می‌کردند؛ فضاپیمایی متشکل از چند مدول که با بهره‌گیری از پیشرانش موشک در مدار قرار می‌گرفت. فضاپیمایی که به این ترتیب به مدار می‌رسید، با ترفندی کپسول حامل سرنشین خود را به زمین باز می‌گرداند و از آنجا که کل فضاپیما به زمین باز نمی‌گشت امکان پرواز دوباره با آن وجود نداشت و برای پرواز بعدی فضاپیمایی از نو باید ساخته می‌شد.

شاتل فضایی با ایده استفاده مکرر از فضاپیما، وسیله‌ای مانند هواپیما که بارها بتوان از آن استفاده کرد، پا به عرصه فناوری پرواز فضایی سرنشین‌دار گذاشت. شاتل سیستم حمل و نقل فضایی پیشرفته‌ای بود که با هزینه‌ای هنگفت توسعه پیدا کرد.

در سال‌های آخر قرن بیستم، با به پایان رسیدن جنگ سرد و شنیده شدن زمزمه‌های تجاری‌سازی فضا، بخش خصوصی وارد عرصه فناوری حمل انسان به فضا شد. فعالیت‌های این بخش در سال ۲۰۰۴ با پرواز سپیس شیپ۱[2] به ثمر نشست.

جدول ۱-۱[۵۲،۲۷،۴۲] فضاپیماهای سرنشین‌داری را که تا به امروز ساخته و عملیاتی شده‌اند و فضاپیماهای سرنشین‌دار در دست طراحی را به نمایش می‌گذارد. تلاش بخش خصوصی در کنار سازمان‌های دولتی نشان از آینده روشن پروازهای فضایی سرنشین‌دار دارد.

پرواز فضایی سرنشین‌دار به دو صورت می‌تواند انجام پذیرد[۵۱]:

- پرواز زیرمداری
- پرواز مداری

در پرواز زیرمداری فضاپیما تا ارتفاع ۱۰۰ کیلومتری (۶۲ مایلی) بالا می‌رود، روی کمان عریضی از زمین پرواز می‌کند و به زمین باز می‌گردد. مسیر پرواز شبیه مسیر سنگی است که به هوا پرتاب شده است. مسیر پرواز راکت‌های کاوش نیز به همین صورت است. در بالای کمان مسیر به مدت چند دقیقه حالت بی‌وزنی احساس می‌شود و در همان جا منظره

[1] . Soyuz
[2] . SpaceShipOne

غول‌آسایی از زمین قابل مشاهده است.

در پرواز مداری، فضاپیما در مدار زمین قرار می‌گیرد. زمانی که فضاپیما در مدارهای پایینی زمین قرار گیرد، تقریباً هر ۹۰ دقیقه یک بار به دور زمین می‌چرخد.

جدول ۱ فضاپیماهای سرنشین‌دار جهان

فضاپیما	کاربرد	کشور یا شرکت سازنده
فضاپیماهای عملیاتی		
شنژو	مدار زمین	چین
مرکوری	مدار زمین	ایالات متحده
جمینی	مدار زمین	ایالات متحده
آپولو	مدار ماه	ایالات متحده
اکس-۱۵	پرواز زیرمداری	ایالات متحده
شاتل فضایی	سیستم حمل و نقل مداری	ایالات متحده
اسکای لب	ایستگاه فضایی	ایالات متحده
ایستگاه فضایی بین المللی	ایستگاه فضایی	بین المللی
اسپیس شیپ ۱	پرواز زیرمداری	ایالات متحده/ اسکیلد کامپوزیت
واستوک	مدار زمین	اتحاد جماهیر شوری
واسخود	مدار زمین	اتحاد جماهیر شوری
سایوز	مدار زمین	اتحاد جماهیر شوری
سالوت	ایستگاه فضایی	اتحاد جماهیر شوری
میر	ایستگاه فضایی	اتحاد جماهیر شوری
فضاپیماهای تجاری در دست توسعه		
آلتایریس	زیرمداری	ایرا
ویلد فایر	زیرمداری	پروژه داوینچی
نوترینو	زیرمداری	سیستم های بین مداری
نپتون	مداری	سیستم های بین مداری
سری XA	زیرمداری	سیستم های فضایی مَسِن
سری O	مداری	سیستم های فضایی مسن
سری XL	مداری/پرواز به ماه	سیستم های فضایی مسن
راکت پلین XP	زیرمداری	راکت پلین کیستلر
K-1	مداری	راکت پلین کیستلر
اسپیس شیپ ۲	زیرمداری	اسکیلد کامپوزیت/اسپیس شیپ
اسپیس شیپ ۳	مداری	اسکیلد کامپوزیت/اسپیس شیپ
کاوشگر اسپیس ادونچر	زیرمداری	اسپیس ادونچر

دراگون	مداری/پرواز به ماه	اسپیس اکس
دریم چیسر	زیرمداری/مداری	اسپیس دِو
نوا ۲	زیرمداری	صنایع استارچیسر
تاندراستار	زیرمداری	صنایع استارچیسر
وسیله حمل و نقل خدمه	مداری	تی/اسپیس
زیروس	زیرمداری	هوافضای اکسکور
اوریون	مداری	ناسا
بوران	سیستم حمل و نقل مداری	آژانس فضایی فدرال روسیه (پروژه لغو شده)
کلیپر	مداری	آژانس فضایی فدرال روسیه
وسیله مداری ایسرو	مداری	سازمان تحقیقات فضایی هند
ATV اولوشن	مداری	سازمان فضایی اروپا (در دست بررسی)
سیستم حمل و نقل فضایی خدمه	مداری	سازمان فضایی اروپا و سازمان فضایی فدرال روسیه

بر همین اساس و بر اساس نوع سیستم، فضاپیماهای سرنشین‌دار به سه دسته کلی ایستگاه‌های فضایی، فضاپیماهای مداری شامل کپسول فضایی، و سیستم‌های حمل و نقل فضایی تقسیم می‌شوند. در کنار این سه دسته فضاپیماهای زیرمداری (هوافضاپیماها[1]) نیز وجود دارند که در زمینه طراحی آنها تجاربی کسب شده است.

هر یک از انواع فضاپیماهای سرنشین‌دار، ویژگی‌ها و کاربردهای خاص خود را دارد. ایستگاه‌های فضایی فضاپیماهای سرنشین‌داری هستند که سیستم پیشرانش و فرود ندارند. اولین ایستگاه فضایی دنیا را اتحاد جماهیر شوروی، با نام سالوت-۱، در فضا برقرار کرد. برنامهٔ سالوت متشکل از نه تک مدول بود که به عنوان ایستگاه فضایی در بازهٔ زمانی یازده ساله‌ای در مدار قرار گرفتند. تجربه‌های به دست آمده از این ایستگاه‌ها که تنها از یک بخش تشکیل شده بودند، راه را برای ساخت و برقراری ایستگاه‌های فضایی بزرگ‌تر و پیچیده‌تری مانند میر و ایستگاه فضایی بین‌المللی که از بخش‌های زیادی تشکیل شده‌اند هموار کرد. هسته یا مدول مرکزیِ هر یک از این ایستگاه‌ها از سالوت گرفته شد[۵۲].

سیستم‌های حمل و نقل فضایی یا اسپیس‌پلین‌ها[2] فضاپیماهای سرنشین‌داری هستند که می‌توانند بارها پرواز کنند. این سیستم‌ها با بهره‌گیری از سیستم پیشرانش خود تا مدار زمین پیش می‌روند و بخش مدارگرد آنها در مدار قرار می‌گیرد. همین بخش، حامل فضانوردان، ماموریت را انجام می‌دهد و مرحله بازگشت به جو و فرود را به انجام می‌رساند. درصد زیادی از این فضاپیماها قابلیت استفاده مجدد دارد، به گونه‌ای که کل وسیله را می‌توان قابل استفاده مجدد دانست. شاتل فضایی و بوران در این دسته از فضاپیماهای سرنشین‌دار قرار می‌گیرند. بوران که پس از شاتل فضایی و با الگوبرداری

[1] . Aerospaceplanes
[2] . Spaceplanes

از آن ساخته شد به دلایلی هرگز وارد چرخه عملیاتی نشد.

شماری از وسایل نقلیه سرنشین‌دار فضایی، تنها تا مرز فضا پیش می‌روند یا به عبارتی پرواز زیرمداری انجام می‌دهند. این وسایل در مدار شناور نمی‌شوند، بنابراین مدت زمان پرواز آنها در مقایسه با وسایل پرواز مداری کوتاه‌تر است. اکس-۱۵ و اسپیس‌شیپ۱ دو وسیله از این دست هستند که هر دو از سازوکار تقریبا مشابهی برای رسیدن به مرز فضا بهره می‌گیرند. اکس-۱۵ از زیر بال هواپیمای بوئینگ بی-۵۲ رها می‌شود و اسپیس‌شیپ۱ با هواپیمای وایت نایت[1] تا ارتفاعی حمل و سپس رها می‌شود. پی از آن فضاپیماها برای پرواز و اوج‌گیری تا مرز فضا (۱۰۰ کیلومتری یا ۶۲ مایلی) از موتور راکت بهره می‌گیرند. اکس-۱۵ سه پرواز و اسپیس‌شیپ یک پرواز (رسمی به جز پروازهای آزمایشی) داشته است[۴۸].

متداول‌ترین انواع فضاپیماهای سرنشین‌دار از چند بخش جداگانه به نام مدول تشکیل شده‌اند که یکی از این مدول‌ها را کپسول فضایی حامل سرنشین(ها) تشکیل می‌دهد. این دسته از فضاپیماها معمولا شکل استوانه‌ای و یا مخروطی دارند. سایوز معروفترین فضاپیمای استوانه‌ای (سیستم‌های شرقی) این دسته و آپولو معروفترین فضاپیمای مخروطی (سیستم‌های امریکایی) این دسته است.

پرواز فضایی سرنشین‌دار به ایمنی و قابلیت اطمینان بالایی نیاز دارد. علاوه بر اهمیت سیاسی، اجتماعی، علمی، فنی و اقتصادی، استفاده‌های کاربردی فضاپیمای سرنشین‌دار را می‌توان به صورت زیر [۳۵] برشمرد:

۱. پیشرفت و پشت سر گذاشتن موانع در فناوری‌های کلیدی در پرواز فضایی سرنشین‌دار و به دست آوردن اطلاعات پایه در مهندسی پزشکی فضایی

۲. انجام آزمایش‌ها گوناگون علمی در فضا که نیاز به حضور انسان دارد و نتایج آنها برای بهبود حیات در زمین قابل توجه است.

۳. انجام ملاقات و پهلوگیری دو فضاپیما در فضا که حداقل یکی از آن دو سرنشین‌دار باشد، و انجام فعالیت‌های خارج از فضاپیما توسط فضانوردان

۴. انتقال فضانوردان و مواد به و از ایستگاه‌های فضایی

۵. نجات فضانوردان از ایستگاه‌های فضایی به عنوان یک وسیله نجات اورژانسی

۶. به کار بستن کاربردهای فضایی و آزمایش‌های فنی و علمی

۷. ایجاد شرایط برای انجام پروازهای سرنشین‌دار به ماه و سایر سیارات در آینده

توسعه فضاپیمای سرنشین‌داری که قابلیت پرواز کوتاه مدت با یک تا دو سرنشین را به مدارهای پایینی زمین داشته

[1] . White Knight