



روندنامای استخراج سریع مشخصات سیستمی ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ

مهران میرشمیس^{۱*}، احسان ذبیحیان^۲

۱- دانشیار، مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

۲- دانشجوی دکتری، مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

* تهران، صندوق پستی mirshams@kntu.ac.ir، ۱۶۷۶۵۳۳۸۱

چکیده

در این مقاله روش سریع طراحی مفهومی ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ معرفی شده است. این روش مطابق نامگذاری شده است. مطابق مخفف مدل طراحی آماری است. ویژگی و هدف اصلی ارائه روش یادشده تعیین اطلاعات فاز طراحی مفهومی ماهواره مانند جرم و توان، در مدت زمان کوتاه با دقت قابل قبول است. با استفاده از روش کنونی می‌توان مشخصات زیرسیستم‌های ماهواره مخابراتی زمین آهنگ را استخراج کرد. لازمه پیاده‌سازی این روش جمع‌آوری پایگاه داده کاملی از مشخصات سیستمی و زیرسیستم‌های ماهواره است. با توجه به کاربردهای ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ و همچنین هزینه و زمان بالای طراحی مفهومی این نوع ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ با پایین آوردن زمان طراحی و ساخت این نوع ماهواره‌ها وجود دارد؛ بنابراین در این مقاله به پیاده‌سازی روش برای طراحی مفهومی ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ در بازه جرمی 7000kg-1000 ۷۰۰۰ کیلوگرم-۱۰۰۰ پرداخته شده و با استفاده از این روش زمان طراحی این نوع ماهواره کاهش پیدا کرده است. برای پیاده‌سازی روش بیان شده و دست‌یابی به روابط قابل اطمینان پایگاه داده شامل ۴۵۰ ماهواره مخابراتی زمین آهنگ که در سال ۲۰۰۰-۲۰۱۶ پرتاب شده جمع‌آوری شده است. تمام روابط پس از تشرییف برای تعیین مشخصات زیرسیستم‌های ماهواره معروف شده‌اند. دقت روندانمای پیشنهادی به دو روش پیاده‌سازی روی یک نمونه و روش آماری صحه‌گذاری شده است. میانگین خطای نتایج بدست‌آمده با این روش در زیرسیستم‌های مختلف ۱۵.۷٪ است که در فاز طراحی مفهومی تخمین مناسبی به نظر می‌رسد.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۱۲ دی ۱۳۹۵

پذیرش: ۰۵ بهمن ۱۳۹۵

ارائه در سایت: ۰۴ اسفند ۱۳۹۵

کلید واژگان:

روشن مطا

طراحی مفهومی ماهواره

ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ

تحلیل آماری

Fast determination of system specifications of GEO communication satellites

Mehran Mirshams^{۱*}, Ehsan Zabihian^۱

۱- Department of Aerospace Engineering, Khaje Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

* P.O.B. 167653381 Tehran, Iran, mirshams@kntu.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 01 January 2017
Accepted 24 January 2017
Available Online 22 February 2017

Keywords:
SDM Method
Satellite conceptual design
GEO communications satellites
Statistical analyze

ABSTRACT

This paper has introduced a fast GEO satellite conceptual design method named Statistical Design Model (SDM). The main merit of SDM is to determine parameters involved in the satellite conceptual design phase, such as power and mass, with an acceptable accuracy and time performance. This method, implemented by means of a complete database, can readily find specifications of GEO communication satellite subsystems. With respect to the application of GEO communications satellites as well as high cost and time required for their conceptual design, a demand has always existed to shorten the duration of the development of such satellites. Herein, we present SDM method for the conceptual design of GEO communications satellites lying in the mass range of 1000 to 7000 kg and amply indicate its effectiveness for reduction of design time. For implementation of SDM and the attaining reliable relations, we used a database which is constructed from records of over 450 GEO communication satellites launched between years 2000 and 2016. The attained relations demonstrating the subsystems specifications are analyzed. The accuracy of the proposed algorithm is verified through a case study and also through a statistical method. In the various subsystems, mean error of the obtained results was nearly 15.7%, being suitably acceptable for the conceptual design phase.

تعریف شده برای ماهواره است [۱]. در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۱۱ نیز روش بیان شده توسط ایشان با تنبیهاتی در ساختار روند طراحی و با در نظر گرفتن هزینه و قابلیت اطمینان و همچنین در نظر گرفتن پیشرفت تکنولوژی تکمیل شد [۳,۲]. تقریباً همان‌با این فعالیت‌ها در مراجع دیگری نیز روش‌هایی با نگاه جامع ارائه شد. این روش‌ها به عنوان مراجع درس در دانشگاه‌های اروپایی استفاده شده است [۵,۴].

نکته بسیار مهمی که باید در طراحی مفهومی ماهواره در نظر گرفته شود عدم وجود پاسخ یا طرح واحد برای انجام یک پروژه طراحی ماهواره است. در

۱- مقدمه امروزه همواره تلاش برای رسیدن به روش‌های کاربردی طراحی مفهومی ماهواره در دنیا صورت می‌پذیرد. در راستای این فعالیتها روش‌های مختلفی برای طراحی مفهومی ماهواره ارائه شده است، که هر کدام از جنبه‌های خاصی به مسئله طراحی نگاه کرده‌اند. چند مرجع از کتاب‌های طراحی را می‌توان به عنوان جامع‌ترین نگاه به طراحی نام برد. ورتز و همکاران از سال ۱۹۹۲ به ارائه نگاه جامع روی طراحی ماهواره پرداختند. این نگاه شامل ارائه روشی منسجم برای طراحی زیرسیستم‌های ماهواره با توجه به نوع مأموریت

Please cite this article using:

M. Mirshams, E. Zabihian, Fast determination of system specifications of GEO communication satellites, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 2, pp. 404-412, 2017 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

روی زیرسیستم‌های مخابرات و تأمین انرژی ماهواره پیاده‌سازی شد [13]. میرشمس این روش را پس از عیب‌یابی مجدد روی ماهواره‌های مخابراتی در 2015 پیاده‌سازی کرد [14].

هدف اصلی مقاله کنونی معرفی روش مطا و همچنین نمایش تأثیر استفاده از روش در میزان دقت و سرعت طراحی مفهومی ماهواره است. در اعمال این روش از روابط برگرفته از تحلیل آماری جهت انتخاب و طراحی مناسب استفاده شده و مراحل تکامل این روش نیز در زیر آورده شده است.

- ایده‌پردازی (سال 2012)
- ارائه و پیاده‌سازی اولیه (سال 2013) [11]
- عیب‌یابی اولیه (سال 2013) [12]
- تکمیل پیاده‌سازی مجدد نام‌گذاری مطا (2014) [13]
- عیب‌یابی و تکمیل و پیاده‌سازی مجدد (2015) [14]

در ادامه مقاله روش مطا تشریح و روی ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنج پیاده‌سازی شده است.

2- تشریح روش SDM

روش مطا مبتنی بر تحلیل داده‌های آماری است. برای اعمال این روش باید مدل‌های آماری با توجه به ورودی‌ها، خروجی‌ها و نوع داده‌های موجود در پایگاه داده استخراج شود. با استفاده از این روش طراحی مفهومی با سرعت قابل توجهی قابل انجام است، همچنین دقت نتایج نیز در محدوده مناسبی قرار دارد.

2-1- ساختار روش مطا

روند کلی اعمال روش مطا از چند گام اساسی بهصورت زیر تشکیل می‌شود.

- مشخص کردن ورودی و خروجی‌های موردنیاز
- استخراج پایگاه داده اولیه با توجه به نیازمندی‌های مأموریت، ورودی و خروجی‌های موردنیاز
- تحلیل و مشخص کردن روند سلسه مراتبی روندانه‌های طراحی
- تکمیل پایگاه داده کامل با در نظر داشتن روندانه‌ها
- بازنویسی روندانه‌های طراحی با توجه به خصوصیات کمی و کیفی پایگاه داده جمع‌آوری شده
- تحلیل داده‌های پایگاه داده و استخراج مدل‌ها (روابط و نمودارها)
- پیاده‌سازی و صحبت‌سنگی با استفاده از پیاده‌سازی روی یک طرح ساخته شده پیشین

با اعمال این گام‌های اساسی می‌توان روش مطا را پیاده‌سازی کرد. ساختار اصلی این روش، مطا، در شکل 1 قابل مشاهده است.

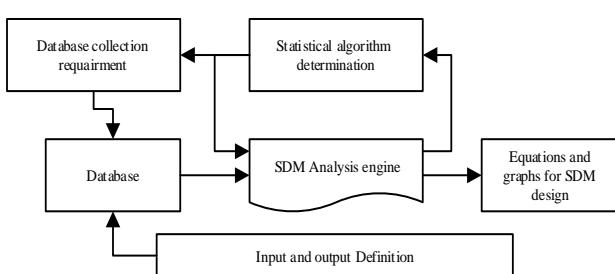


Fig. 1 SDM method algorithms

شکل 1 روندانمای روش مطا

براساس شکل 1 ابتدا پایگاه داده اولیه از ماهواره‌های موردنظر جمع‌آوری خواهد شد. این پایگاه داده باید با در نظر گرفتن ورودی و خروجی‌های

حل یک مسئله ریاضی تنها یک پاسخ صحیح وجود دارد، ولی در چنین مسئله‌ای تنها یک پاسخ صحیح وجود ندارد و دلیل این امر پیچیدگی طراحی و نبود روش‌های تحلیلی و ریاضی در تمامی مراحل طراحی ماهواره است.

طراحی ماهواره به دلیل اصلی پیچیدگی وجود متغیرها و پارامترهای زیاد و اثرات متقابل آن‌ها بر یکدیگر فرآیند تکراری با پیچیدگی بالاست. مقالات متعددی روی بهینه‌سازی و بررسی اثرات پارامترهای طراحی وجود دارد. برای نمونه جفرصالحی روی بهینه‌سازی طراحی مفهومی ماهواره سنجش از دور با اعمال پیچیدگی‌های طراحی ماهواره کار کرده و طراحی را تحت عدم قطعیت انجام داده است [6]، همچنین وجود زیرسیستم‌های مختلف و وظایف متعدد هر زیرسیستم پیچیدگی و به تبع آن زمان طراحی را بالا برده است. این موضوع در مرحله طراحی مفهومی از مراحل دیگر طراحی پیشتر نمود پیدا می‌کند. اهمیت پرداختن به مرحله طراحی مفهومی به عنوان نخستین و مؤثرترین گام در طراحی یک سیستم فضایی کاملاً قابل درک است. از سویی امکان به دست آوردن یک فرمول کلی که برای طراحی مفهومی با سرعت و بازده قابل قبول وجود ندارد. عوامل و پارامترهای موجود در جستجوهای مختلف برای طراحی زیرسیستم‌های ماهواره بررسی شده است. برای نمونه فکور و همکاران روی زیرسیستم سازه ماهواره‌های مدار زمین آهنج بررسی داشته و به بهینه‌سازی طراحی پیکره‌بندی و جانمایی پرداخته‌اند [7]، مچنین کوثری و همکاران در خصوص کنترل وضعیت ماهواره و اثرات طراحی چیدمان تراستهای بررسی گسترده‌ای انجام دادند [8]. در نظر گرفتن هر زیرسیستم در طراحی مفهومی فعلی است که سبب بالا بردن دقت نتایج طراحی خواهد شد. مقالات بسیاری در خصوص طراحی تک‌تک زیرسیستم‌های ماهواره وجود دارد. ساده‌سازی طراحی و دستیابی به سریع نتایج مساله‌ای است که با توجه به سرعت پیشرفت کنونی علم طراحی و همچنین نیاز به پایین آوردن زمان طراحی باید در نظر گرفته شود. این مساله در صنایع دیگر نیز مورد نظر قرار دارد و روش‌های مختلفی برای پایین آوردن زمان و هزینه طراحی ارائه شده است. روش طراحی به کمک آزمایشات، نوعی طراحی آماری، یکی از روش‌های پایین آوردن زمان و هزینه طراحی است. بحیی و آیتکین نمونه‌ای از این روش را ارائه کرده‌اند [9]. روبرت و همکاران روش‌های طراحی آماری و آنالیز داده در علوم و مهندسی را در پژوهشی بررسی کرده‌اند [10]. این روش‌ها در مراجع متعددی پیاده‌سازی شده، ولی باید در نظر داشت که پیاده‌سازی آزمایشات در طراحی ماهواره محدود است؛ بنابراین می‌توان با در نظر گرفتن تجارب پیشین سازندگان ماهواره روش طراحی آماری را پیاده سازی کرد. در این مقاله روشی معرفی شده که با استفاده از آن می‌توان به سادگی با سرعت بالایی به نتایج قابل قبول در طراحی مفهومی دست یافت که این روش مطا نام‌گذاری شده است. با استفاده از روش یادشده می‌توان مدل‌های ریاضی خاصی استخراج کرد. استفاده از این مدل‌ها سبب دستیابی به سرعت و دقت مناسب در طراحی مفهومی ماهواره است.

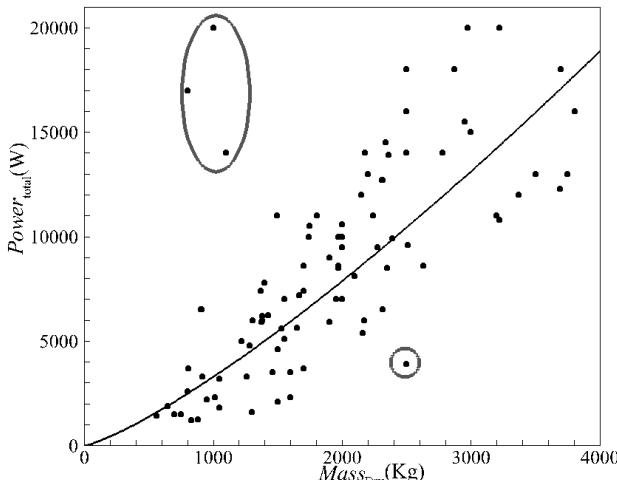
روش مطا طراحی را بهصورت آماری با دقت قابل قبولی انجام می‌دهد و مبتنی بر استفاده از پایگاه داده و تحلیل آماری است. در صورتی که پایگاه داده جمع‌آوری شده از کمیت و کیفیت مناسبی برخوردار باشد نتایج در زمان بسیار کوتاه به طرح نهایی خواهد رسید. پیشنهاد اولیه استفاده از این روش برای اولین بار توسط میرشمس در 2013 روی زیرسیستم تأمین انرژی و مخابرات ماهواره ارائه شد [11,12]. در ادامه میرشمس و همکاران در 2014 قابلیت‌های روش مطا اولیه ارائه شده را با استفاده از تحلیل‌های آماری در نرم‌افزار SPSS افزایش دادند. در این فعالیت کاربرد روش تکمیل شده دوباره

برای استخراج مدل‌های مناسب مطأً باید به نکات یادشده زیر دقت شود.

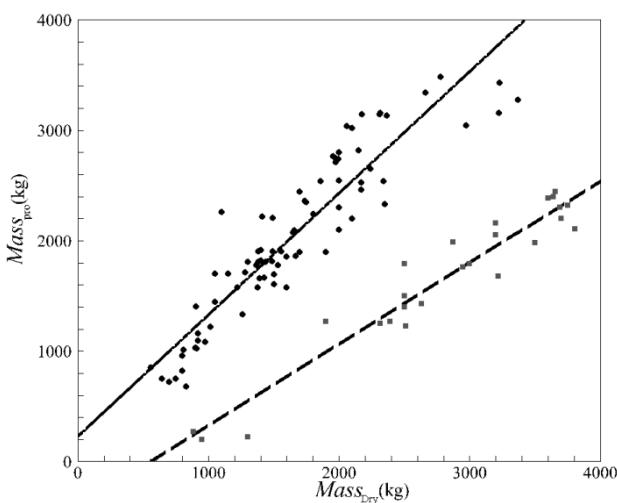
نکته ۱: هم‌خوانی داده‌ها در پایگاه داده باید بررسی شود. هم‌خوانی داده‌ها رسم مدل‌های آماری مشخص می‌شود. در مدل‌های دو بعدی برای داده‌های غیرهم‌خوان دو حالت نبود هم‌خوانی غیرمعنی دار و نبود هم‌خوانی معنی دار پیش خواهد آمد. هم‌خوانی غیرمعنی دار به صورت شکل ۲ پیش می‌آید. حذف داده روش برخورد با داده‌های غیرهم‌خوان و غیرمعنی دار است. در شکل ۲ داده‌هایی که باید حذف شوند با کشیدن دایره نشان داده شده است.

داده‌های غیرهم‌خوان و معنی دار به صورت شکل ۳ رخ می‌دهد. روش برخورد با داده‌های غیرهم‌خوان و معنی دار استخراج رابطه معنی دار و استفاده از رابطه‌ها در روندنیاز طراحی با توجه به ورودی‌های مسئله است.

نکته ۲: پس از جمع‌آوری پایگاه داده با توجه به این که برای هر پارامتر تعداد داده‌های یکسانی وجود ندارند باید از روش‌های تحلیل آماری متفاوت جهت تحلیل داده‌های آماری استفاده کرد. این امر سبب می‌شود روندنیاز طراحی تحت تأثیر قرار گرفته و تغییر کند. این کار گام چهارم روند اعمال روش مطأً را تحت تأثیر قرار می‌دهد.



شکل ۲ نمونه داده‌های غیرهم‌خوان و غیرمعنی دار



شکل ۳ نمونه داده‌های غیرهم‌خوان و معنی دار

مورد نیاز تعیین شود، سپس کمبودهای پایگاه داده اولیه باید در چرخه موتور تحلیل مطأً و روندنیاهای طراحی استخراج شود. در این گام روندنیاهای طراحی استخراج شده است. با وجود این کمبودها پایگاه داده باید تکمیل و مدل‌های آماری با توجه به روندنیاهای طراحی تدوین شده استخراج گرددند. ویژگی اصلی این فرآیند تکرارهای متعدد برای تکمیل پایگاه داده و تعیین روندنیاهای طراحی است. این فرآیند تکراری سبب دستیابی به بهترین روابط و مدل‌های آماری می‌شود. ساده‌ترین روابط منجر به دستیابی نتایج مناسب منظور بهترین روابط است.

۳- مفاهیم و روش‌ها

در این بخش به توضیح مفاهیم اصلی به کار رفته در مقاله پرداختیم، همچنین روش‌های اساسی به کار رفته در مقاله توضیح داده شده است.

۱-۳- تعریف مدل آماری

یک مدل آماری نوعی فرمول‌بندی به صورت ریاضی برای مشخص کردن رابطه بین یک یا چند متغیر با یک یا چند متغیر دیگر است. مدل آماری توصیف یا بیان ساده‌های از سیستم مورد مطالعه است، ولی در حالت کلی مدل‌های آماری می‌توانند دارای جزئیات بسیاری باشد و از هزاران متغیر مرتبط باهم و از طرق بسیار پیچیده تشکیل شده باشد [14]. برای نمونه افتاده‌هایی که جهت‌دهی تصمیم‌گیری بانک‌های مرکزی را عهده‌دار هستند از چنین مدل‌های بزرگی استفاده می‌کنند. پایه‌ریزی این مدل‌ها به گونه‌ای است تا با استفاده از آن‌ها شناخت سیستم، پیش‌بینی رفتار سیستم و در نهایت تصمیم‌گیری در خصوص تغییرات آن انجام شود. مدل‌های آماری دو دسته مکانیکی و تجربی است. یک مدل مکانیکی بر پایه نظریات اساسی محکم شکل می‌گیرد، نظریاتی که نشان‌دهنده چگونگی با هم در ارتباط بودن اشیاست. در واقع این مدل‌ها بر پایه معادلات ریاضی، توصیف‌کننده این نظریات، پایه‌ریزی می‌شوند. برای نمونه در مدل افزایش سرعت یک جسم در حال سقوط در طول زمان، در مدل‌های مکانیکی داده‌هایی که برای تشکیل مدل‌ها باید جمع‌آوری شود همان متغیرهای استفاده شده در این تئوری‌هاست. (مانند سرعت و زمان درباره جسم در حال افتادن)، بنابراین مدل‌های مکانیکی روش‌های مستقیم ریاضی برای توصیف تئوری‌هاست. در مقابل مدل‌های تجربی تلاش برای فراهم کردن بیان ساده و مناسبی از جنبه‌های مهم داده‌های مورد مطالعه است. برای نمونه امکان دارد هیچ تئوری نشان‌دهنده افزایش سرعت افتادن جسمی با زمان نداشته باشیم، فقط شاهد باشیم رابطه‌ای در این میان وجود دارد و بر این اساس حدس می‌زنیم این رابطه افزاینده باشد. در این مقاله بیشتر مدل‌ها در دسته تجربی قرار دارند، زیرا رابطه جبری خاصی بین پارامترهای طراحی مفهومی و تئوری محکمی وجود ندارد. برای نمونه تئوری اثبات شده‌ای وجود ندارد که با افزایش توان مصرفی جرم نیز افزایش یابد [15]، ولی ارائه کنندگان روش مطأً روابط آماری را با مشاهده روابط میان پارامترهای مختلف و با استفاده از مدل‌های آماری تجربی استخراج کرده‌اند.

۳-۲- نکات استخراج مدل‌های طراحی آماری

مدار زمین آهنگ در نظر و این پارامترها با توجه به تجربه و نیازمنجی از کاربران این نوع ماهواره‌ها در نظر گرفته شده است. در این مقاله روابط به‌گونه‌ایی به دست خواهد آمد که با ورود یکی از این پارامترها روند طراحی آغاز و تا پایان ادامه یابد. ورودی‌ها شامل پهنه‌ای باند، نرخ داده نیاز، تعداد ترانسپاندر مورد نیاز، جرم بار محموله مورد نیاز، جرم کل ماهواره در زمان پرتاب و تعداد کاتال HD مورد نیاز است.

هر داده ورودی دارای محدوده‌ای است که با توجه داده‌های آماری موجود در پایگاه داده تعیین و در جدول 2 محدوده داده‌های ورودی مشخص شده است.

تعیین خروجی‌ها

خروجی‌ها برای تشکیل مدل‌های مناسب و با توجه به پایگاه داده و نیازمندی‌های خروجی‌های طراحی مفهومی به دو سطح سیستم و زیرسیستم تقسیم شده است.

خروجی‌های سطح سیستم پارامترهای اصلی سیستم را شامل می‌شود. این پارامترها شامل کلی ماهواره را به کاربر ارائه می‌کند. با خروجی‌های سطح سیستم می‌توان به امکان‌سنجی اولیه از ماهواره دست یافت. این خروجی‌ها شامل جرم کل (kg)، جرم خشک (kg)، توان کل (w)، حجم (m^3)، هزینه‌ماهواره (\$) (M\$)، هزینه پرتاب (\$) (M\$) هزینه بیمه (\$) (M\$) هزینه ایستگاه زمینی (\$) و هزینه کل (\$) (M\$) است.

خروجی‌های سطح زیرسیستم شامل جرم و توان زیرسیستم‌ها و المان‌های پیشنهادی برای در نظر گرفتن در زیرسیستم‌هاست. با توجه به این خروجی‌ها می‌توان شمای ابتدایی از زیرسیستم‌های ماهواره را به دست آورد. این خروجی‌ها طراح را با هدف حرکت در راستای انتخاب صحیح المان‌های زیرسیستم‌ها قرار داده است.

در این بخش زیرسیستم‌های تعیین و کنترل وضعیت، تأمین انرژی، مخابرات، پردازش روی برد، پیشرانش، سازه و حرارت تحلیل شده است.

جدول 1 مشخصات پایگاه داده

پارامتر	بازه تغییرات
تاریخ پرتاب	2000 به بالا
جرم کل	7000-1000
عمر ماهواره‌ها	18-5
جرم خشک	5170-500

جدول 2 محدوده پارامترهای ورودی

ردیف	پارامتر	واحد	بازه تغییرات
1		پهنه‌ای باند	500-2800 MHz
2	نرخ داده مورد نیاز	Mbps	1200-7000
3	تعداد ترانسپاندر مورد نیاز ^(*)	-	14-78 (36MHz) 8-38 (72MHz)
4	جرم بار محموله مورد نیاز	kg	130-650
5	جرم کل ماهواره در زمان پرتاب	kg	1000-7000
6	تعداد کاتال HD مورد نیاز	-	80-450

تعداد ترانسپاندر 36MHz و 72MHz مورد نظر است، و داده کافی برای این ترانسپاندر به دلیل نبودن ترانسپاندرهای بالاتر نیست.

3-3- انواع مدل‌های طراحی آماری

مدل‌هایی که برای اعمال روش مطأ استفاده می‌شود. شامل سه نوع مدل پادشاهی در زیر است.

1- مدل چگالی توزیع داده

مدل‌های چگالی توزیع داده با توجه به داده‌های موجود در پایگاه داده توسط نرم‌افزارهای تحلیل آماری مانند SPSS قابل رسم است.

این نوع مدل نمایش‌دهنده میزان توزیع داده‌ها و صحت مدل‌های استخراج شده از آن هاست. صحت مدل‌ها با توجه به میزان تراکم و واریانس داده‌ها مشخص می‌شود.

2- مدل دو بعدی

مدل‌های دو بعدی برای تعیین یک پارامتر با مشخص بودن پارامتر دیگر استفاده می‌شود. نمونه این نوع مدل در شکل 2 قابل مشاهده است.

3- مدل سه بعدی

مدل‌های سه بعدی در روش مطأ به عنوان مدل‌های تأییدکننده نهایی نتایج استفاده می‌شود. این نوع مدل زمان مشخص بودن دو پارامتر استفاده می‌شود. به طور معمول پس از طراحی و مشخص شدن تمام پارامترها و در صورتی که از مدل‌های آماری دو بعدی با واریانس پایین استفاده شده باشد برای صحه‌گذاری نتایج نیاز است از مدل‌های سه بعدی استفاده شود.

4- پیاده‌سازی روش مطأ روی ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ

روش مطأ به طور کامل روی ماهواره‌های مخابراتی در مدار زمین آهنگ پیاده‌سازی شده است. برای این کار مرحلی که در ابتدا یاد شد به صورت گام به گام انجام و نتایج اعمال این روش در ادامه بیان شده است.

1- پایگاه داده

پایگاه داده‌ها شامل 415 ماهواره که مشخصات اصلی به صورت جدول 1 جمع‌بندی شده است.

باید توجه داشت که هر اندازه تعداد داده‌های آماری بیشتر باشد برای تحلیل آماری بهتر است.

از پایگاه داده جمع‌آوری شده نتایج زیر به دست آمده است.

- استفاده بیشتر از پیشانش الکترونیکی به جای شیمیابی از 2010 به بعد رخداده که سبب تغییر نسبت جرم خشک به جرم کل تغییر و همچنین افزایش توان مصرفی است.

- تغییر تکنولوژی محموله مخابراتی از سال 2012 به بعد سبب افزایش توان مصرفی کل ماهواره بوده است.

- تغییر تکنولوژی آرایه‌های خورشیدی از سال 2006 به بعد برای تأمین توان بیشتر موردنیاز در ماهواره است.

2- ورودی و خروجی‌ها

تعیین ورودی‌ها

ورودی‌های اصلی در این مقاله از نام آن برداشت شده، مأموریت مخابراتی و مدار زمین آهنگ نخستین و مهم‌ترین ورودی‌های است. با توجه به این که این نوع ماهواره به دو صورت رهایش در مدار زمین آهنگ یا در مدار پارکینگ طراحی و ساخته می‌شوند رهایش در مدار پارکینگ نیز به عنوان ورودی بعدی در نظر گرفته شده است. در طراحی ماهواره ورودی‌های خاص موردنظر کارفرمایی و مأموریت، حداکثر جرم ماهواره و ورودی‌های خاص موردنظر کارفرمایی [2]. در این روش شش پارامتر برای تعیین ورودی‌ها علاوه‌بر مأموریت مخابراتی و

داده و دیگری واریانس رابطه به دست آمده است. واریانس رابطه مستخرج از شکل 7 به مقدار 0.952 به دست آمده که به عدد یک نزدیک و نشان‌دهنده صحت رابطه مستخرج از نمودار است.

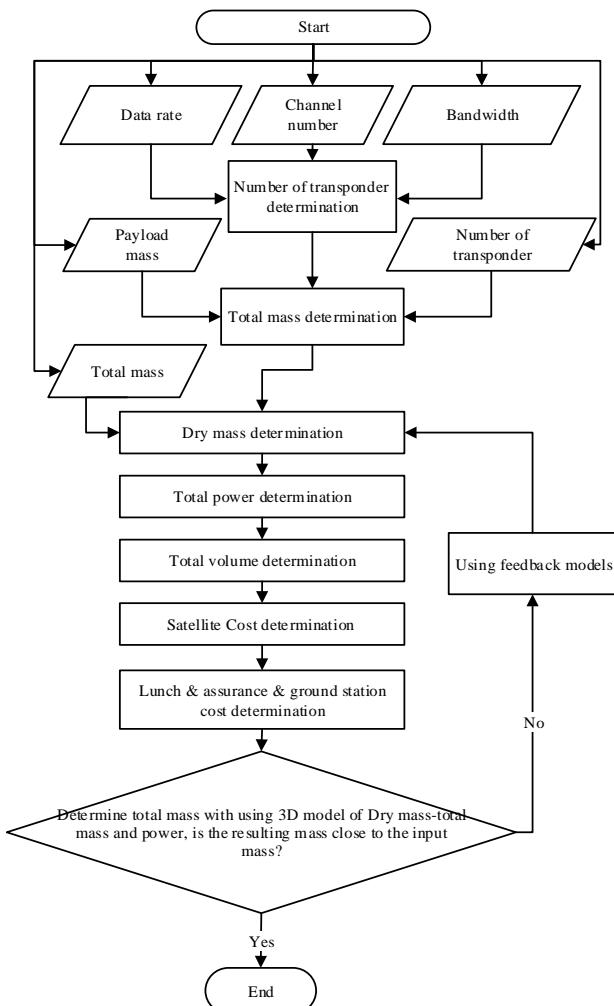


Fig. 4 System specifications determine algorithms

شکل 4 روندنامی تعیین مشخصات سیستمی

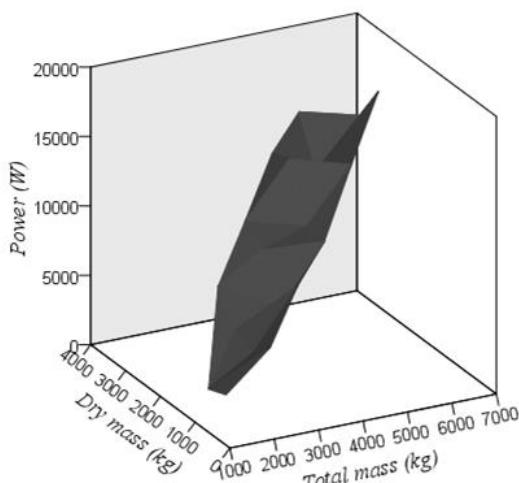


Fig. 5 Total mass-dry mass-total power 3D model

شکل 5 مدل سه بعدی جرم خشک با جرم کل و توان

4-3- روندنامی طراحی

روندنامی طراحی برای ساده‌سازی روند طراحی و به دست آوردن خروجی‌ها در دو سطح سیستم و زیرسیستم تعریف و این کار سبب شکست روندنما در بخش‌های کوچک و قابلیت سریع اجرای آن شده است. یکی از اهداف روش مطا ساده‌سازی روند طراحی است که با انجام این تقسیم‌بندی و ساده‌سازی روندنما در راستای برآورده سازی اهداف حرکت شده است. در شکل 4 روندنامی تعیین مشخصات سیستمی نشان داده شده است.

ورود اطلاعات براساس روندنامی شکل 4 گام نخست است. شش نوع اطلاعات ورودی مختلف به عنوان ورودی در نظر گرفته شده است. روند با روابط مستخرج از پایگاه داده‌ها با ورود هر یک از این پارامترها شروع خواهد شد. در صورت ورود اطلاعات پنهانی باند یا تعداد کانال یا نرخ داده مورد نیاز تعداد ترانسپاندر محاسبه خواهد شد. جرم کل در صورت ورود تعداد ترانسپاندر یا جرم محموله، و جرم خشک با ورود جرم کل ماهواره، توان مصرفی با استفاده از روابط میان حجم و هزینه با جرم کل ماهواره محاسبه خواهد شد. در صورتی که جرم کل ماهواره با جرم کل در مدل سه‌بعدی جرم خشک با جرم کل و توان شکل 5 هم‌خوانی داشته باشد کار محاسبات به پایان خواهد رسید. در صورت نبود هم‌خوانی جرم کل در این مدل باید از روابط فیدبک استخراج شده از پایگاه داده‌ها استفاده شود. شکل 5 نموداری است که در تحلیل‌ها مورد استفاده نرم‌افزار SPSS قرار می‌گیرد و نشان‌دهنده رابطه جرم خشک، جرم کل و توان است. این رابطه با توجه به پایگاه داده توسط نرم‌افزار تعریف شده است. توانایی تعیین یک پارامتر در صورت مشخص‌بودن دو پارامتر دیگر از خواص این شکل و برای صحه‌گذاری نتایج در روندنامی طراحی استفاده شده است.

در ادامه‌ی این بخش یک نمونه از روندنماهای تدوین شده برای تعیین مشخصات زیرسیستم‌ها آمده است. در تمام روندنماهای تدوین شده، روند مشخصی پیگیری شده است.

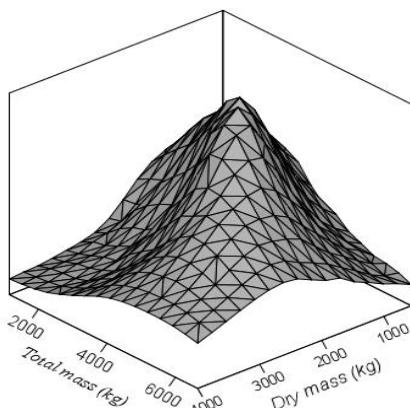
این روند به صورت گام‌های زیر انجام شده است.
- تعیین جرم زیرسیستم با استفاده از مدل جرم خشک - جرم زیرسیستم

- تعیین توان زیرسیستم با استفاده از مدل توان کل - توان زیرسیستم
- صحه‌گذاری نتایج تعیین جرم و توان به دست آمده
- استفاده از روابط فیدبک (در صورت لزوم) استفاده از روابط فیدبک با استفاده از محدوده جرمی و توانی موجود در کتابهای طراحی [5,4,2]
- توصیه برای المان‌های زیرسیستم با توجه به پایگاه داده روندنامی تعیین مشخصات زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت به عنوان نمونه در شکل 6 آمده است. سایر زیرسیستم‌ها هم روندنامی مشابهی دارند.

4-4- روابط و مدل‌های آماری

مطابق روند پیشین روابط و مدل‌های آماری هم به دو دسته سیستمی و زیرسیستمی تقسیم شده است. تمامی روابط با استفاده از مدل‌های آماری به دست آمده است. با توجه به تعداد داده‌های زیاد موجود در پایگاه داده خطای روابط به کمترین میزان رسیده است. نمودار جرم کل به جرم خشک ماهواره‌ها در شکل 7 به عنوان نمونه نشان است.

برای تعیین میزان صحت مدل‌های آماری استخراج شده راه کارهای متفاوتی وجود دارد یکی از راه کارهای آماری استفاده از نمودار چگالی توزیع



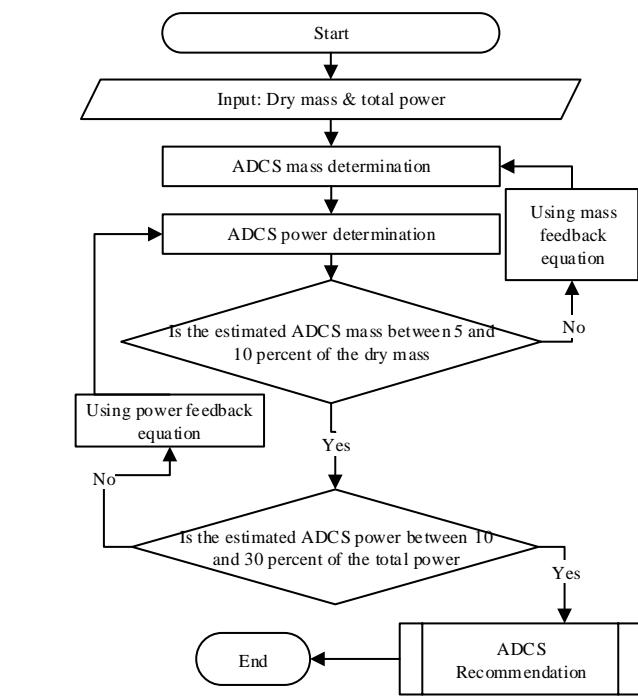
شکل 8 چگالی توزیع داده‌های مدل جرم کل - جرم خشک ماهواره

جدول 3 روابط تعیین مشخصات سیستمی

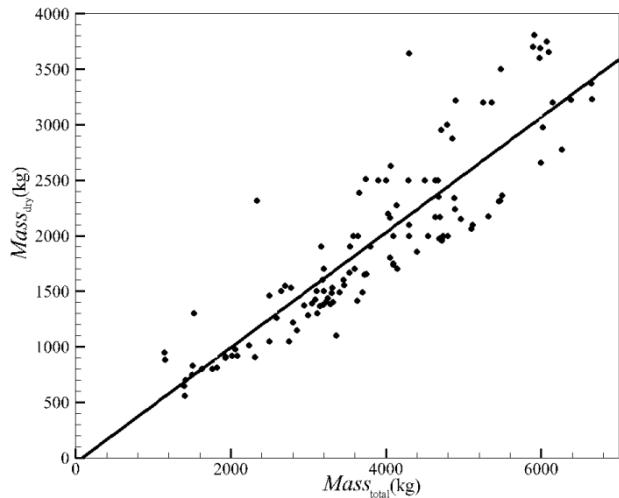
Table 3 System specs determination formulas

پارامتر	باره تغییرات
NoT = 0.0277 × BW	تعیین تعداد ترانسپاندر با پهنای باند
NoT = 0.1666 × NCR	تعیین تعداد ترانسپاندر با تعداد کاتال
NoT = 0.0111 × DR	تعیین تعداد ترانسپاندر با نرخ داده
M _T = 83.3 × NoT - 238.75	تعیین جرم کل ماهواره با تعداد ترانسپاندر
NoT = 0.012 × M _T + 2.865	تعیین تعداد ترانسپاندر با جرم کل ماهواره
M _T = 11.93 × M _{pay} - 414.67	تعیین جرم کل ماهواره با جرم محموله
M _D = 0.5536 × M _T + 20.805	تعیین جرم خشک ماهواره با جرم کل (اصلی)
M _D = 0.4834 × M _T + 19.748	تعیین جرم خشک ماهواره با جرم کل (فیدبک)
P _T = 4.152 × M _D - 1667.18	تعیین توان کل ماهواره (اصلی)
P _T = 0.9662 × M _D + 33.816	تعیین توان کل ماهواره (فیدبک)
V _T = 4.5717 × e ^{0.0005M_T}	تعیین حجم کل ماهواره (رابطه اصلی)
V _T = 0.0136 × M _T - 19.748	تعیین حجم کل ماهواره (رابطه فیدبک)
C _{sat} = 25.348 × e ^{0.0005M_T}	تعیین هزینه ساخت ماهواره (اصلی)
C _{sat} = 0.978 × M _T + 234	تعیین هزینه ساخت ماهواره (فیدبک)
C _{GS} = 1.5714 × C _{sat}	تعیین هزینه ایستگاه زمینی
C _L = 0.7857 × C _{sat}	تعیین هزینه پرتاب
C _A = 0.2142 × C _{sat}	تعیین هزینه بیمه

توصیه‌ای برای انتخاب المان‌های زیرسیستمی در آخرین گام روند طراحی تمام زیرسیستم‌ها وجود دارد. این توصیه‌ها با توجه به اطلاعات موجود در پایگاه داده ارائه و برای ارائه این توصیه‌ها از نمودارهایی مانند شکل 9 استفاده شده است. جمع‌بندی توصیه برای المان‌های زیرسیستم‌ها در جدول 3 آمده است. باید در نظر داشت به دلیل انتخاب المان‌ها با توجه به پایگاه داده همان طور که در روند نمودار چگالی توزیع داده در شکل 8 نیز تأیید‌کننده میزان صحت داده، تراکم و ترتیب این شکل نشان‌دهنده خطای پایین روابط استخراج شده میان جرم کل و جرم خشک است.



شکل 6 روندnamی تعیین مشخصات زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت



شکل 7 Total mass-Dry mass statistical model

شکل 7 مدل آماری جرم کل - جرم خشک

همچنین رسم نمودار چگالی توزیع داده در شکل 8 نیز تأیید‌کننده میزان صحت داده، تراکم و ترتیب این شکل نشان‌دهنده خطای پایین روابط استخراج شده میان جرم کل و جرم خشک است. جمع‌بندی و روابط بخش تعیین مشخصات سیستمی در جدول 3 آمده است.

همان‌طور که در روند نمودار چگالی توزیع داده در شکل 8 نیز تأیید‌کننده میزان صحت داده، تراکم و ترتیب این شکل نشان‌دهنده خطای پایین روابط استخراج شود. دو رابطه برای تعیین جرم و توان و دو رابطه نیز به عنوان روابط فیدبک جرم و توان تعیین شده است. روابط برای تعیین جرم و توان زیرسیستم‌ها در جدول 4 آمده است. همان‌طور که در ابتدای مقاله بیان شد تلاش در راستای ساده‌سازی طراحی است، برای نمونه در این روش زیرسیستم پیش‌رانش با درنظر گرفتن روابط موجود در جدول 4 طراحی می‌شود و ورودی‌های اصلی طراحی به طور مستقیم در یافتن روابط در نظر گرفته شده است.

5- صحه گذاری

- در این قسمت به دو روش صحت‌سنگی روابط را انجام می‌دهیم.
- صحت‌سنگی با استفاده از روش آماری
- پیاده‌سازی روی یک ماهواره

در ادامه به تشرییح دو روش پادشاهی پرداخته شده است.

جدول ۵ توصیه برای المان‌های زیرسیستم‌ها

Table 5 Recommended Sub system instrument

زیرسیستم	توصیه
تعیین و کنترل	سه محوره: چرخ عکس‌العملی، جایزو، گشتاور دهنده
وضعیت	مغناطیسی، ستاره یاپ، مغناطیسی‌سنچ
نوع آرایه‌ها:	گالیوم آرسناید چند اتصالی
تأمین انرژی	نوع باتری‌ها: لیتیوم یونی یا نیکل هیدروژن
نحوه قرارگیری آرایه‌ها بازشونده و دنبال‌کننده خورشید	نحوه قرارگیری آرایه‌ها بازشونده و دنبال‌کننده خورشید
مخارب و محموله	نوع آتن: سهموی و همه جهته
باند فرکانسی: به ترتیب Ku و C و Ka	فرمان
مدیریت داده و پیشرانش	معماری: مرکب یا توزیع شده
سازه	سوخت مایع دوپایه و یونی برای حفظ مداری
کنترل حرارت	مکعبی شکل با جنس هانی کامپ یا الومینیوم فضایی روش حرارتی: فعل، رنگ، عایق‌های چندلایه‌ی حرارتی، رادیاتور، هیتر، لوله‌های حرارتی

جدول ۶ نتایج صحه‌گذاری مدل‌های آماری

Table 6 The results validation of statistical models

همبستگی	میانگین واریانس	میانگین ضرب	مدل
0.91	0.95		سیستم
0.83	0.85		تعیین و کنترل وضعیت
0.79	0.81		پیشرانش
0.89	0.92		سازه
0.80	0.84		تأمین انرژی
0.85	0.86		مدیریت داده و فرمان
0.83	0.91		مخارب
0.90	0.95		کنترل حرارت
0.95	0.85		محموله

با توجه به جدول ۶ تمامی مدل‌ها از دقت مناسبی برخوردار است. مدل‌های سیستمی قابل اطمینان‌ترین مدل‌هاست و مدل‌های زیرسیستم پیشرانش بیشترین خطرا خواهد داشت.

5-2- پیاده‌سازی روی یک ماهواره

جهت ارزیابی کلی الگوریتم ارائه شده به حل مثال نمونه با استفاده از داده‌های آماری جمع‌آوری شده برای یک ماهواره پرتاب شده در سال 2014 می‌پردازیم. برای این کار از اطلاعات یک ماهواره به عنوان نمونه استفاده شده است. پارامترهای خروجی مطأاً به همراه داده‌های ماهواره ساخته شده در جدول 7 آمده است. داده‌های ماهواره ساخته شده مخصوص فاز طراحی مفهومی است [18-16].

مدت زمان انجام محاسبات و دستیابی به نتایج حدود 15 دقیقه بوده است.

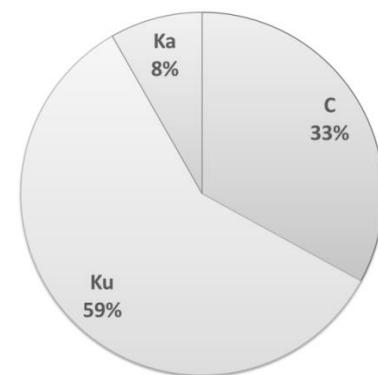
نتایج زیر از اطلاعات موجود در جدول 6 و درصدهای تفاوت موجود در جدول 7 حاصل خواهد شد:

- میانگین خطای کل مطأاً ارائه شده برای ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ 15.7% است.
- مدل‌های سیستمی و زیرسیستم حرارت خطای کمی دارند.
- سایر مدل‌ها به یک میزان خطای دارند.

جدول 4 روابط تعیین مشخصات زیرسیستم‌ها

Table 4 Sub systems specs determination formulas

زیرسیستم	پارامتر	رابطه
جرم (اصلی)	جرم (اصلی)	$M_{ADCS} = 0.0525 \times M_D + 9.348$
تعیین و کنترل	جرم (فیدبک)	$M_{ADCS} = 0.052 \times M_D + 241$
وضعیت	توان (اصلی)	$P_{ADCS} = 0.1258 \times P_t - 11.3$
	توان (فیدبک)	$P_{ADCS} = 0.127 \times P_t + 104$
تأمین انرژی	جرم (اصلی)	$M_{PGS} = 0.1971 \times M_D - 24.28$
	جرم (فیدبک)	$M_{PGS} = 0.13 \times M_D + 79$
مخابرات	توان (اصلی)	$P_{PGS} = 0.0605 \times P_t - 12.42$
	توان (فیدبک)	$P_{PGS} = 0.28 \times P_t - 34.57$
فرمان	جرم (اصلی)	$M_{Com} = 0.061 \times M_D - 10.3$
	جرم (فیدبک)	$M_{Com} = 0.2764 \times M_D + 156.56$
توان (اصلی)	توان (اصلی)	$P_{Com} = 0.163 \times P_t - 7.12$
	توان (فیدبک)	$P_{Com} = 0.3147 \times P_t + 102.478$
سازه	جرم (اصلی)	$M_{STR} = 0.2441 \times M_D + 17.854$
	جرم (فیدبک)	$M_{STR} = 0.4127 \times M_D - 481.562$
توان (اصلی)	توان (اصلی)	$P_{STR} = 0$
	جرم (اصلی)	$M_{CDH} = 0.0307 \times M_D + 3.413$
مدیریت داده و	جرم (اصلی)	$M_{CDH} = 0.0371 \times M_D - 145.32$
فرمان	توان (اصلی)	$P_{CDH} = 0.071 \times P_t - 11.872$
	توان (فیدبک)	$P_{CDH} = 0.0621 \times P_t - 211.423$
پیشرانش	جرم (اصلی)	$M_{Pro} = 0.1401 \times M_D - 68.538$
	جرم (فیدبک)	$M_{Pro} = 0.0423 \times M_D + 49.245$
توان (اصلی)	توان (اصلی)	$P_{Pro} = 0.1742 \times P_t + 24.842$
	جرم (اصلی)	$M_{TCS} = 0.0631 \times M_D - 3$
کنترل حرارت	جرم (اصلی)	$M_{TCS} = 0.0371 \times M_D - 247.41$
	توان (اصلی)	$P_{TCS} = 0.1514 \times P_t - 9.841$
	توان (فیدبک)	$P_{TCS} = 0.124 \times P_t + 1002.478$
محموله	جرم (اصلی)	$M_{Pay} = 0.211 \times M_D + 35.13$
	جرم (فیدبک)	$M_{Pay} = 0.1264 \times M_D + 124.7$
توان (اصلی)	توان (اصلی)	$P_{Pay} = 0.26 \times P_t - 13.42$
	توان (فیدبک)	$P_{Pay} = 0.18 \times P_t + 87.84$



شکل 9 فراوانی باند فرکانسی محموله

شکل 9 فراوانی باند فرکانسی محموله

5-1- صحت‌سنجی با استفاده از روش آماری

پارامترهای تأثیرگذار در نمایش میزان صحت مدل‌های آماری، واریانس و ضریب همبستگی است که هر اندازه مقدار آن‌ها به عدد یک نزدیک‌تر باشد مدل قابل اطمینان‌تر است. جهت جمع‌بندی، تمام مدل‌های مورد استفاده بررسی و نتایج به صورت جدول 6 ارائه شده است.

7	482	450	جرم محموله (kg)
21	1132	900	توان (W)
31	203	140	جرم (kg)
--			زنون- یونی برای سوخت مایع دوپایه و یونی
--			حفظ مداری برای حفظ مداری نوع پیشرانش
22	1521	1854	جرم پیشران

- خطای تمامی مدل‌ها خطای قابل قبول در فاز طراحی مفهومی است. زمان پایین دستیابی به نتایج طراحی با توجه به خطای مناسب یکی از نقاط قوت این روش است.

6- نتیجه‌گیری

روش مطا ابزار مفیدی است که به مهندسان سیستم امکان طراحی مفهومی ماهواره را در زمان کوتاه می‌دهد. این روش می‌تواند برای تمام مأموریت‌های ماهواره‌ای پیاده‌سازی شده و توسعه یابد. در این مقاله با استفاده از روش پیشنهاده به رانه روندی سریع، با دقت و منسجم جهت طراحی ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ پرداخته شد. پایه اصلی توسعه این روش استفاده از اطلاعات آماری دقیق است. نقطه قوت این روش سادگی پیاده‌سازی روابط و سرعت بالای طراحی است. روش مطا برای دستیابی به تخمین مناسب از مشخصات باس ماهواره، هزینه تخمینی، تعیین شکل سازه و مشخصات زیرسیستم‌ها و بودجه جرم و توان سودمند و مفید است. توانایی دستیابی یک مهندس سیستم به مشخصات طراحی مفهومی ماهواره در زمان کوتاه چند دقیقه‌ای و بدون نیاز به مراجع مختلف مهندسی دستاورده این روش این است. این روش می‌تواند در فاز تدوین پیشنهاده و طراحی مفهومی کمک بسیاری به طراحان ماهواره داشته باشد. در انتهای مقاله با استفاده از روش معرفی شده به استخراج مشخصات سیستمی یک ماهواره نمونه پرداخته شده است. نتایج با ماهواره ساخته شده صحه‌گذاری و خطای 15.7% بدست آمده است. این میزان خطا در برابر زمان بسیار کم (کمتر از 15 دقیقه) طراحی با این روش مناسب و قابل انتکاست. استفاده از روش حاضر به دلیل سرعت بالا و تکرارپذیر بودن به شدت در کاهش هزینه و زمان طراحی تأثیرگذار خواهد بود. بهطور کلی مزایای روش مطا اجرای طراحی مفهومی با دقت و سرعت مناسب، تعمیم ساده مبنای روش برای انواع مأموریت‌های ماهواره‌ای، حل مشکلات ناشی از طولانی بودن مراحل طراحی و کاهش هزینه گام طراحی مفهومی است. بدین ترتیب نداشتن طراحی دقیق ماهواره و وابستگی به پایگاه داده از معایب این روش است.

7- فهرست عالیم

ADCS	زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت
BW	پهنای باند (MHz)
C _A	هزینه بیمه (M\$)
C _{GS}	هزینه ایستگاه زمینی (M\$)
C _L	هزینه پرتاب (M\$)
C _{sat}	هزینه ماهواره (M\$)
DR	نرخ داده (Mbps)
EPS	زیرسیستم تأمین انرژی
GEO	مدار زمین آهنگ
M _{ADCS}	جرم زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت (kg)

جدول 7 مقایسه نتایج طراحی مطأ و مقادیر واقعی

پارامتر	مقادیر داده‌های واقعی	نتایج طراحی SDM	درصد خطا
جرم کل (kg)	3454	3454	0
جرم خشک (kg)	1600	1933	18
توان کل (W)	2 × 3000	6359	6
حجم (m ³)	≈ 28	25.71	12
هزینه (M\$)	132.4	142.57	7
هزینه پرتاب (M\$)	100	112.01	12
هزینه بیمه (M\$)	--	30.55	--
هزینه ایستگاه زمینی (M\$)	--	224.02	--
هزینه کل (M\$)	--	509.14	--
توان (W)	300	373	20
جرم (kg)	290	357	19
جنس آرایه‌ها	گالیوم آرسناید چند اتصالی	لیتیوم یونی یا نیکل	--
جنس باتری‌ها	گالیوم آرسناید	نیکل هیدروژن	--
نحوه قرار گیری آرایه‌ها	باشونده و دنبال کننده	بازشونده و دنبال کننده	--
دانباری	دنبال کننده	خورشید	--
توان (W TT&C)	900	1030	13
جرم (kg TT&C)	80	108	16
تعداد ترانسپاندر	48-60	45 (36MHz با 22 (72MHz)	--
نوع آنتن	سهموی	سهموی	--
باند فرکانسی	Ku & C & Ka	Ku & S & Ka	--
توان (W)	900	789	14
جرم (kg)	90	111	19
المان‌ها	سه محوره: چرخ عکس‌عملی، جایرو، گشتاوردهنده مغناطیسی، ستاره‌یاب، مغناطیسی‌سنج	المان‌ها در	--
شکل سازه	سه محوره: چرخ عکس‌عملی، جایرو، گشتاوردهنده مغناطیسی، ستاره‌یاب، مغناطیسی‌سنج	کامپ یا آلومینیوم فضایی	--
توان (W)	0	0	0
جرم (kg)	410	490	16
المان‌های حرارتی	مکعبی شکل با جنس هانی	مکعبی شکل	--
روش حرارتی	لوله‌های حرارتی	رنگ، عایق‌های چندلایه، رادیاتور، هیتر، لوله‌های حرارتی	--
توان (W)	900	953	6
جرم (kg)	90	119	24
روش حرارتی	فعال	فعال	--
المان‌های حرارتی	رنگ، عایق‌های چندلایه، رادیاتور، هیتر، لوله‌های حرارتی	لوله‌های حرارتی	--
توان (W)	300	440	32
جرم (kg)	50	63	21
توبولوژی شبکه	باس کن	مرکب یا توزیع شده	--
معماری	مرکب	مرکب	--
توان محموله (W)	1800	1640	10

- [5] P. Fortescue, G. Swinerd, J. Stark, *Spacecraft systems engineering*, pp. 643-678, India: John Wiley & Sons, 2011.
- [6] A. Jafarsalehi, H. R. Fazeley, M. Mirshams, Conceptual Remote Sensing Satellite Design Optimization under uncertainty, *Aerospace Science and Technology*, Vol. 55, No. 1, pp. 377-391, 2016.
- [7] M.Fakoor, M.taghinezhad, A.Kosari, Design of configuration and layout optimization in GEO satellite, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 1, pp. 339-351, 2014. (in Persian فارسی)
- [8] A.Kosari, S.Kaviri, B.Moshiri, M.Fakoor, Design of optimal thruster configuration for attitude control of geostationary satellite, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 13, No. 13, pp. 67-77, 2014. (in Persian فارسی)
- [9] A. Yahia, P. C. Aitcin, *Experimental statistical design*, pp. 549-564, Science and Technology of Concrete Admixtures: Woodhead Publishing, 2016.
- [10]R. L. Mason, R. F. Gunst, J. L. Hess, *Statistical design and analysis of experiments: with applications to engineering and science*, pp. 120-520, USA: John Wiley & Sons, 2003.
- [11]M. Mirshams, A. R. Zabihian, E. Zabihian, Statistical design model and telecommunication satellites subsystems, *Proceedings of The 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*, Istanbul, turkey, June 12-14, 2013.
- [12]M. Mirshams, E. Zabihian, A. R. Zabihian, Statistical model of power supply subsystem Satellite, *Proceedings of The 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*, Istanbul, turkey, June 12-14, 2013.
- [13]E. Zabihian, A. R. Zabihian, M. Mirshams, Statistical Design Model (SDM) of power supply and communication satellite subsystems, *Proceedings of The 40th International Conference on COSPAR*, Moscow, Russia, Aug 2-10, 2014.
- [14]M. Mirshams, E. Zabihian, A. Zabihian, Statistical design model (SDM) of communication satellites, *Proceedings of The 7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*, Istanbul, turkey, June 16-19, 2015.
- [15]D. J. Hand, *Statistics*, pp. 5-9, New York: sterling Press, 2010.
- [16]V. Foreman, J. Le Moigne, O. de Weck, A Survey of Cost Estimating Methodologies for Distributed Spacecraft Missions, *Proceedings of The 18th Conference on AIAA SPACE*, Long Beach California, USA, Sep 13-16, 2016.
- [17]H. C. Shaw, B. McLaughlin, F. Stocklin, Applying a Space-Based Security Recovery Scheme for Critical Homeland Security Cyberinfrastructure Utilizing the NASA Tracking and Data Relay (TDRS) Based Space Network, *Proceedings of The 15th IEEE International Conference on Technologies for Homeland Security (HST)*, Waltham, MA, USA, Apr 14-16, 2015.
- [18]D. T. Chelmins, *Glenn Goddard TDRSS Waveform 1.1.3 On-Orbit Performance Report*, Technical Report 20140008859, pp. 5-28, 2014.

جرم زیرسیستم مدیریت داده و فرمان (kg)	M_{CDH}
جرم زیرسیستم مخابرات (kg)	M_{Com}
جرم خشک (kg)	M_D
جرم محموله (kg)	M_p
جرم محموله (kg)	M_{Pay}
جرم زیرسیستم تأمین انرژی (kg)	M_{PGS}
جرم زیرسیستم پیشرانش (kg)	M_{Pro}
جرم زیرسیستم سازه (kg)	M_{STR}
جرم کل (kg)	M_T
جرم زیرسیستم کنترل حرارت (kg)	M_{TCS}
تعداد کاتال مورد نیاز	NCR
تعداد ترانسپاندر	Not
توان زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت (W)	P_{ADCS}
توان زیرسیستم مدیریت داده و فرمان (W)	P_{CDH}
توان زیرسیستم مخابرات (W)	P_{Com}
توان محموله (W)	P_{Pay}
توان زیرسیستم تأمین انرژی (W)	P_{PGS}
توان زیرسیستم پیشرانش (W)	P_{Pro}
زیرسیستم پیشرانش	PrS
توان کل (W)	P_T
توان زیرسیستم کنترل حرارت (W)	P_{TCS}
مطابق	SDM
زیرسیستم کنترل حرارت	TCS
حجم کل (m^3)	V_T

-8- مراجع

- [1] J. R. Wertz, W. J. Larson, *Space mission analysis and design*, pp. 285-324, USA: Microcosm Press, 1992.
- [2] J. R. Wertz, D. F. Everett, J. J. Puschell, *Space Mission Engineering: The New SMAD*, pp. 397-437, USA: Microcosm Press, 2011.
- [3] J. R. Wertz, W. J. Larson, *Space mission analysis and design*, pp. 301-339, USA: Microcosm Press, 1999.
- [4] C. D. Brown, *Elements of spacecraft design*, pp. 13-43, USA Virginia: AIAA Inc, 2002.