مجله مهندسی مکانیک مدرس، اردیبهشت 1396، دوره 17، شماره 2، ص‌ص 404-412

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

روندنمای استخراج سریع مشخصات سیستمی ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ

مهران میرشمس[1*]، احسان ذبیحیان[2]

1- دانشیار، مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
2- دانشجوی دکتری، مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
* تهران، صندوق‌پستی 167653381، mirshams@kntu.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 12 دی 1395
پذیرش: 05 بهمن 1395
ارائه در سایت: 04 اسفند 1395

کلید واژگان:
روش مطآ
طراحی مفهومی ماهواره
ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ
تحلیل آماری

چکیده

در این مقاله روش سریع طراحی مفهومی ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ معرفی شده است. این روش مطآ نام‌گذاری شده است. مطآ 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 قابل‌قبول 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 ماهوارهمواره نیاز به پایین آوردن زمان طراحی و ساخت این نوع ماهواره‌ها وجود دارد؛ بنابراین در این مقاله به پیاده‌سازی روش مطآ برای طراحی مفهومی ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ در بازه جرمی 1000–7000kg پرداخته شده و با استفاده از این روش زمان طراحی این نوع ماهواره کاهش پیدا کرده است. برای پیاده‌سازی روش بیان‌شده و دست‌یابی به روابط قابل اطمینان پایگاه داده شامل 450 ماهواره مخابراتی زمین آهنگ که در سال 2000 – 2016 پرتاب‌شده جمع‌آوری شده است. تمام روابط پس از تشریح برای تعیین مشخصات زیرسیستم‌های ماهواره معرفی شده‌اند. دقت روندنمای پیشنهادی به دو روش پیاده‌سازی روی یک نمونه و روش آماری صحه‌گذاری شده است. میانگین خطای نتایج به‌دست‌آمده با این روش در زیرسیستم‌های مختلف 15.7% است که در فاز طراحی مفهومی تخمین مناسبی به نظر می‌رسد.

Fast determination of system specifications of GEO communication satellites

Mehran Mirshams[1*], Ehsan Zabihian[1]

1- 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.

1- 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 هرکدام از جنبه‌های خاصی به مسئله طراحی نگاه کرده‌اند. چند مرجع از کتاب‌های طراحی را می‌توان به‌عنوان جامع‌ترین نگاه به طراحی نام برد. ورتز و همکاران از سال 1992 به ارائه نگاه جامع روی طراحی ماهواره پرداختند. این نگاه شامل ارائه روشی منسجم برای طراحی زیرسیستم‌های ماهواره با توجه به نوع مأموریت تعریف‌شده برای ماهواره است [1]. در سال‌های 1999 و 2011 نیز روش بیان‌شده توسط ایشان با تغییراتی در ساختار روند طراحی و با در نظر گرفتن هزینه و قابلیت اطمینان و همچنین در نظر گرفتن پیشرفت تکنولوژی تکمیل شد [3,2]. تقریباً هم‌زمان با این فعالیت‌ها در مراجع دیگری نیز روش‌هایی با نگاه جامع ارائه شد. این روش‌ها به‌عنوان مراجع درس در دانشگاه‌های اروپایی استفاده شده است [5,4].

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

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

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)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.41.3]

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 جعفرصالحی روی بهینه‌سازی طراحی مفهومی ماهواره سنجش از دور با اعمال پیچیدگی‌های طراحی ماهواره کار کرده و طراحی را تحت عدم‌قطعیت 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 بیشتر نمود پیدا می‌کند. اهمیت پرداختن به مرحله طراحی مفهومی به‌عنوان نخستین و مؤثرترین گام در طراحی یک سیستم فضایی کاملاً قابل درک است. از سویی امکان به‌دست‌آوردن 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 آهنگ بررسی داشته و به بهینه‌سازی طراحی پیکره‌بندی و جانمایی پرداخته‌اند [7]، مچنین کوثری و همکاران در خصوص کنترل وضعیت ماهواره و اثرات طراحی چیدمان تراسترها بررسی گسترده‌ای انجام دادند [8]. در نظر گرفتن هر زیرسیستم در طراحی مفهومی فعالیتی 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. یحیی 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 غیرممکن 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 مطآ نام‌گذاری شده است. با استفاده از روش یادشده می‌توان مدل‌های ریاضی خاصی استخراج کرد. استفاده از این مدل‌ها سبب دستیابی به‌سرعت و دقت مناسب در طراحی مفهومی ماهواره است.

روش مطآ طراحی را به‌صورت آماری با دقت قابل قبولی انجام می‌دهد و مبتنی‌بر استفاده از پایگاه داده و تحلیل آماری است. در صورتی که پایگاه داده جمع‌آوری‌شده 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 مطآ اولیه ارائه‌شده را با استفاده از تحلیل‌های آماری در نرم‌افزار SPSS افزایش دادند. در این فعالیت کاربرد روش تکمیل‌شده دوباره 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 مطآ 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 مطآ (2014) [13]
- عیب‌یابی و تکمیل و پیاده‌سازی مجدد (2015) [14]

در ادامه مقاله روش مطآ تشریح و روی ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ پیاده‌سازی شده است.

2- تشریح روش SDM

روش مطآ مبتنی‌بر 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 قابل‌توجهی قابل انجام است، همچنین دقت نتایج نیز در محدوده مناسبی قرار دارد.

2-1- ساختار روش مطآ

روند کلی اعمال روش مطآ 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 سلسله مراتبی روندنماهای طراحی
- تکمیل پایگاه داده کامل با در نظر داشتن روندنماها
- بازنویسی روندنماهای طراحی با توجه به خصوصیات کمی و کیفی پایگاه داده جمع‌آوری شده
- تحلیل داده‌های پایگاه داده و استخراج مدل‌ها (روابط و نمودارها)
- پیاده‌سازی و صحت‌سنجی با استفاده از پیاده‌سازی روی یک طرح ساخته‌شده پیشین

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

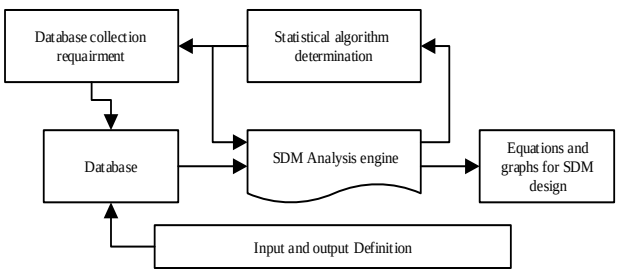

Fig. 1 SDM method algorithms

شکل 1 روندنمای روش مطآ

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

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.41.3]

موردنیاز تعیین شود، سپس کمبودهای پایگاه داده اولیه باید در چرخه موتور تحلیل مطآ و روندنماهای طراحی استخراج شود. در این گام روندنماهای طراحی استخراج شده است. با وجود این کمبودها پایگاه داده باید تکمیل و مدل‌های آماری با توجه به روندنماهای طراحی تدوین‌شده استخراج گردند. ویژگی اصلی این فرآیند تکرارهای متعدد برای تکمیل پایگاه داده و تعیین روندنماهای 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.

3- 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 داده‌شده است.

3-1- تعریف مدل آماری

یک مدل آماری نوعی فرمول‌بندی به‌صورت ریاضی برای مشخص کردن رابطه بین یک یا چند متغیر با یک یا چند متغیر دیگر است. مدل آماری توصیف یا بیان ساده‌ای 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 اقتصاددان‌هایی که جهت‌دهی تصمیم‌گیری بانک‌های مرکزی را عهده‌دار هستند از چنین مدل‌های بزرگی استفاده می‌کنند. پایه‌ریزی این مدل‌ها به گونه‌ایی 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 فراهم‌کردن بیان ساده و مناسبی از جنبه‌های مهم داده‌های مورد مطالعه است. برای نمونه امکان دارد هیچ تئوری نشان‌دهنده افزایش سرعت افتادن جسمی با زمان نباشد، فقط رابطه‌ای در این میان وجود دارد و بر این اساس افزاینده‌بودن این رابطه حدس زده می‌شود. در مقابل مدل‌های تجربی تلاش برای فراهم‌کردن بیان ساده و مناسب 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 رابط 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 ارائه‌کنندگان روش مطآ روابط آماری را با مشاهده روابط میان پارامترهای مختلف و با استفاده از مدل‌های آماری تجربی استخراج کرده‌اند.

3-2- نکات استخراج مدل‌های طراحی آماری

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

نکته 1: هم‌خوانی داده‌ها در پایگاه داده باید بررسی شود. هم‌خوانی داده‌ها با رسم مدل‌های آماری مشخص می‌شود. در مدل‌های دو بعدی برای داده‌های غیرهم‌خوان دو حالت نبود هم‌خوانی غیرمعنی‌دار و نبود هم‌خوانی معنی‌دار پیش خواهد آمد. هم‌خوانی غیرمعنی‌دار به‌صورت شکل 2 پیش می‌آید. حذف داده روش برخورد با داده‌های غیرهمخوان و غیرمعنی‌دار است. در شکل 2 داده‌هایی که باید حذف شوند با کشیدن دایره نشان داده شده است.

داده‌های غیرهمخوان و معنی‌دار به‌صورت شکل 3 رخ می‌دهد. روش برخورد با داده‌های غیرهمخوان و معنی‌دار استخراج رابطه معنی‌دار و استفاده از رابطه‌ها در روندنمای طراحی با توجه به ورودی‌های مسئله است.

نکته 2: پس از جمع‌آوری پایگاه داده با توجه به این‌که برای هر پارامتر تعداد داده‌های یکسانی وجود ندارند باید از روش‌های تحلیل آماری متفاوت جهت تحلیل داده‌های آماری استفاده کرد. این امر سبب می‌شود روندنمای طراحی تحت تأثیر قرارگرفته و تغییر کند. این کار گام چهارم روند اعمال روش مطآ را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

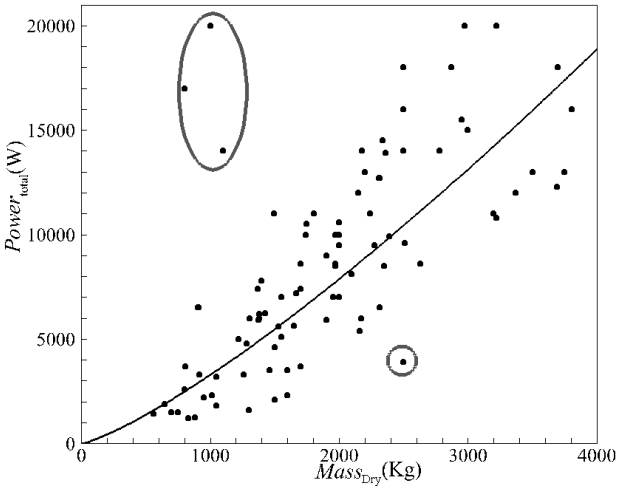

Fig. 2 Sample of non-consonant and non-meaningful data

شکل 2 نمونه داده‌های غیرهم‌خوان و غیرمعنی‌دار

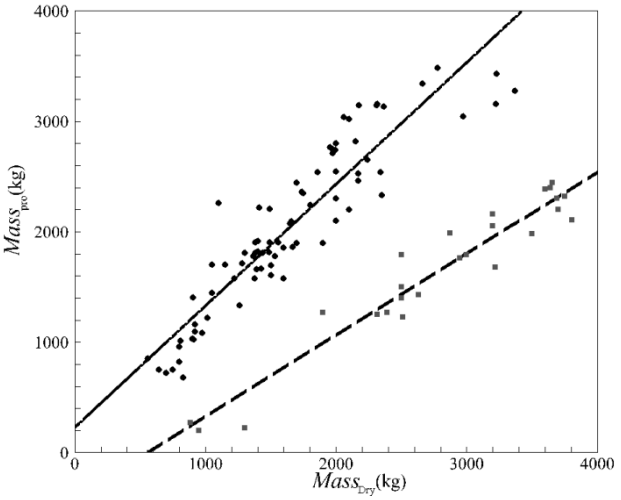

Fig. 3 Sample of non-consonant and meaningful data

شکل 3 نمونه داده‌های غیرهم‌خوان و معنی‌دار

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.41.3]

3-3- انواع مدل‌های طراحی آماری

مدل‌هایی که برای اعمال روش مطآ استفاده می‌شود. شامل سه نوع مدل یادشده 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 آن‌هاست. صحت مدل‌ها با توجه به میزان تراکم و واریانس داده‌ها مشخص می‌شود.

2- مدل دو بعدی

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

3- مدل سه‌بعدی

مدل‌های سه‌بعدی در روش مطآ به‌عنوان مدل‌های تأییدکننده نهایی نتایج استفاده می‌شود. این نوع مدل زمان مشخص‌بودن دو پارامتر استفاده می‌شود. به‌طور معمول پس از طراحی و مشخص‌شدن تمام پارامترها و در صورتی که از مدل‌های آماری دوبعدی با واریانس پایین استفاده شده باشد برای صحه‌گذاری نتایج نیاز است از مدل‌های سه‌بعدی استفاده شود.

4- پیاده‌سازی روش مطآ روی ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ

روش مطآ به‌طور کامل روی ماهواره‌های مخابراتی در مدار زمین آهنگ پیاده‌سازی شده است. برای این کار مراحلی که در ابتدا یاد شد به‌صورت گام‌به‌گام انجام و نتایج اعمال این روش در ادامه بیان شده است.

4-1- پایگاه داده

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

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

از پایگاه داده جمع‌آوری‌شده نتایج زیر به‌دست آمده است.

- استفاده بیشتر از پیشرانش الکتریکی به جای شیمیایی از 2010 به بعد رخ داده 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.

4-2- ورودی و خروجی‌ها

تعیین ورودی‌ها

ورودی‌های اصلی در این مقاله از نام آن برداشت شده، مأموریت مخابراتی و مدار زمین آهنگ نخستین و مهم‌ترین ورودی‌هاست. با توجه به این‌که این نوع ماهواره به دو صورت رهایش در مدار زمین آهنگ یا در مدار پارکینگ طراحی و ساخته می‌شوند رهایش در مدار پارکینگ نیز به‌عنوان ورودی بعدی در نظر گرفته شده است. در طراحی ماهواره ورودی‌های اصلی شامل مدار، مأموریت، حداکثر جرم ماهواره و ورودی‌های خاص مورد نظر کارفرماست [2]. در این روش شش پارامتر برای تعیین ورودی‌ها علاوه‌بر مأموریت مخابراتی و مدار زمین آهنگ در نظر و این پارامترها با توجه به تجربه و نیازسنجی 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 پهنای باند، نرخ داده مورد نیاز، تعداد ترانسپاندر مورد نیاز، جرم بار محموله مورد نیاز، جرم کل ماهواره در زمان پرتاب و تعداد کانال 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 شمای 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 ($M)، هزینه‌پرتاب ($M)، هزینه بیمه ($M)، هزینه ایستگاه زمینی ($M) و هزینه‌کل ($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 به‌دست 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

Table 1 Data base specification

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

Table 2 The range of input parameters

ردیف	پارامتر	واحد	بازه تغییرات
1	پهنای باند	MHz	500-2800
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 کانال 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.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.41.3]

4-3- روندنمای طراحی

روندنمای طراحی برای ساده‌سازی روند طراحی و به‌دست‌آوردن 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 مطآ ساده‌سازی روند طراحی است که با انجام این تقسیم‌بندی و ساده‌سازی روندنما در راستای برآورده سازی اهداف حرکت شده است. در شکل 4 روندنمای تعیین مشخصات سیستمی نشان داده شده است.

ورود اطلاعات براساس روندنمای شکل 4 گام نخست است. شش نوع اطلاعات ورودی مختلف به‌عنوان ورودی در نظر گرفته‌شده است. روند با روابط مستخرج از پایگاه داده‌ها با ورود هر یک از این پارامترها شروع خواهد شد. در صورت ورود اطلاعات پهنای 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 جرم خشک ماهواره، در نهایت حجم و هزینه ساخت ماهواره 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 استخراج‌شده 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 روندنمای 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 به‌صورت 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 به‌دست‌آمده
- 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

روندنمای تعیین مشخصات زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت به‌عنوان نمونه در شکل 6 آمده است. سایر زیرسیستم‌ها هم روندنمای 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 به‌دست 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 به‌عنوان نمونه نشان است.

برای تعیین میزان صحت مدل‌های آماری استخراج‌شده راه‌کارهای متفاوتی وجود دارد یکی از راه‌کارهای آماری استفاده از نمودار چگالی توزیع داده و دیگری واریانس رابطه به‌دست آمده است. واریانس رابطه مستخرج از شکل 7 به مقدار 0.952 به‌دست‌آمده که به عدد یک نزدیک و نشان‌دهنده صحت رابطه مستخرج از نمودار است.

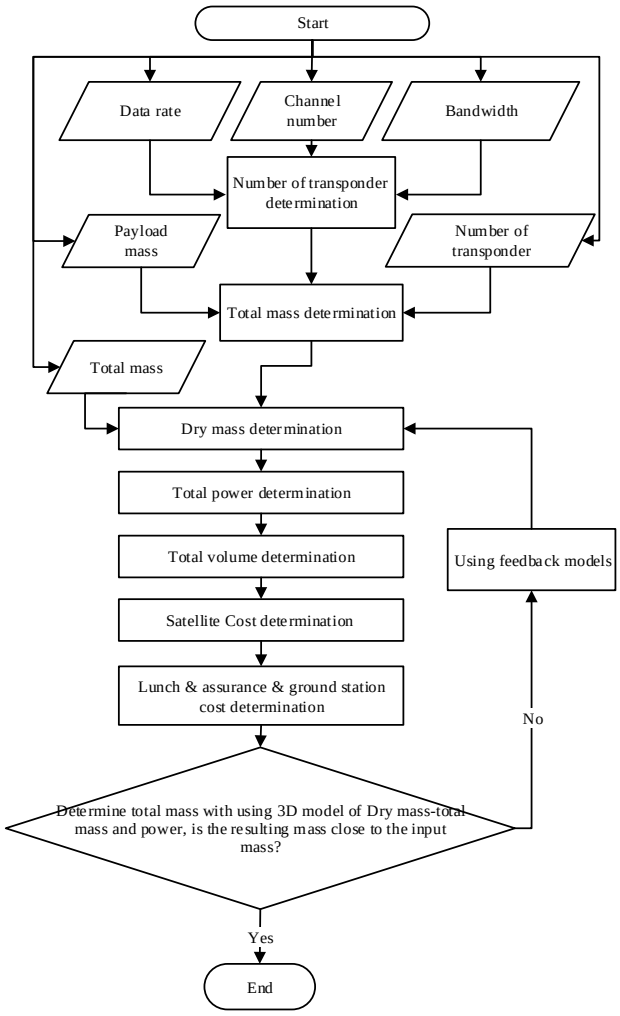

Fig. 4 System specifications determine algorithms

شکل 4 روندنمای تعیین مشخصات سیستمی

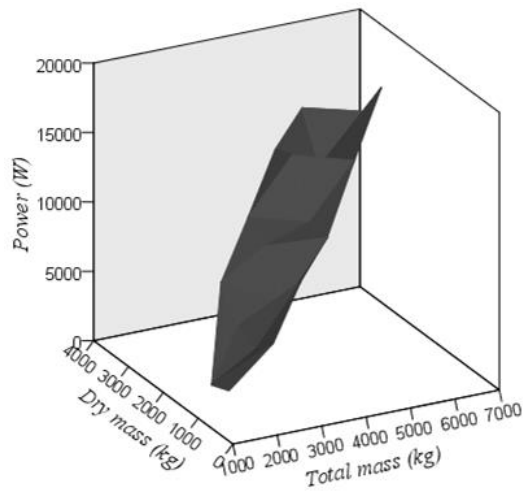

Fig. 5 Total mass-dry mass-total power 3D model

شکل 5 مدل سه‌بعدی جرم خشک با جرم کل و توان

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.41.3]

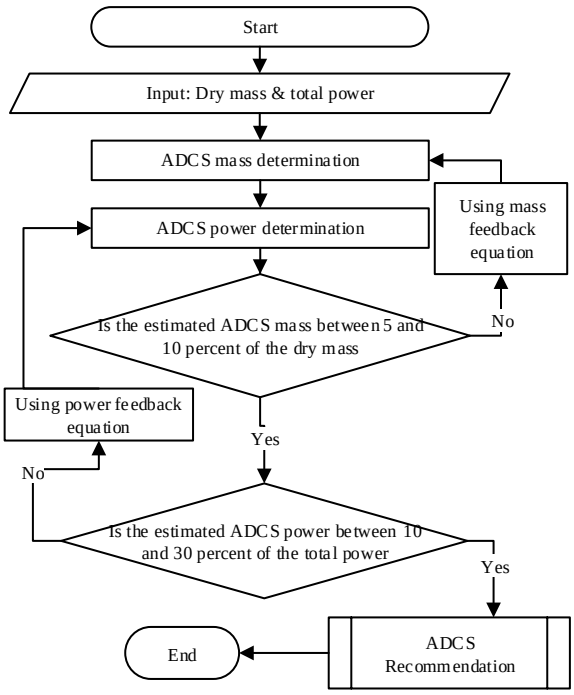

Fig. 6 ADCS sub-system specifications determine algorithms

شکل 6 روندنمای تعیین مشخصات زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت

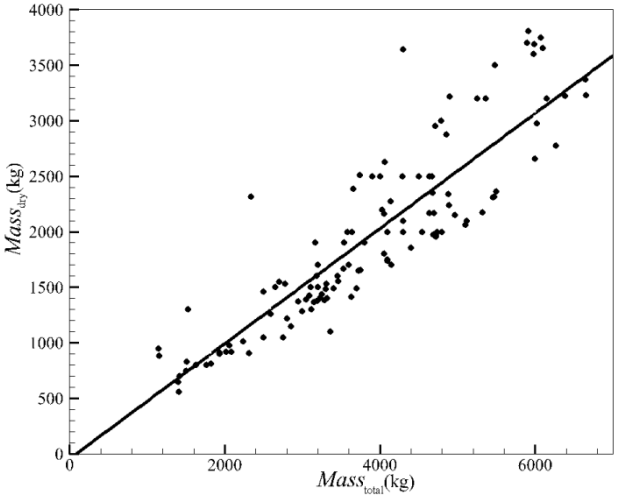

Fig. 7 Total mass-Dry mass statistical model

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 استخراج‌شده میان جرم کل و جرم خشک است.

جمع‌بندی و روابط بخش تعیین مشخصات سیستمی در جدول 3 آمده است.

همان‌طور که در روندنماهای طراحی زیرسیستم‌ها نشان داده شده برای هر زیرسیستم به‌جز سازه و پیشرانش لازم است چهار رابطه استخراج شود. دو رابطه برای تعیین جرم و توان و دو رابطه نیز به‌عنوان 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 مستتر در یافتن روابط در نظر گرفته شده است.

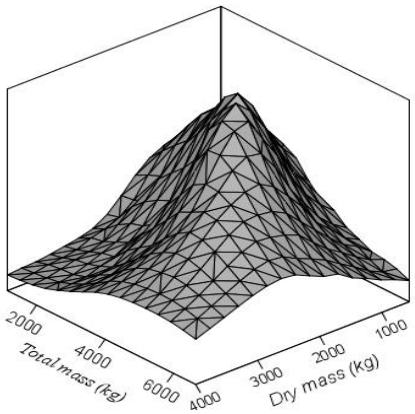

Fig. 8 Data density distribution of Total mass- Dry mass model

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

جدول 3 روابط تعیین مشخصات سیستمی

Table 3 System specs determination formulas

پارامتر	بازه تغییرات
تعیین تعداد ترانسپاندر با پهنای باند	$NoT = 0.0277 \times BW$
تعیین تعداد ترانسپاندر با تعداد کانال	$NoT = 0.1666 \times NCR$
تعیین تعداد ترانسپاندر با نرخ داده	$NoT = 0.0111 \times DR$
تعیین جرم کل ماهواره با تعداد ترانسپاندر	$M_T = 83.3 \times NoT - 238.75$
تعیین تعداد ترانسپاندر با جرم کل ماهواره	$NoT = 0.012 \times M_T + 2.865$
تعیین جرم کل ماهواره با جرم محموله	$M_T = 11.93 \times M_{pay} - 414.67$
تعیین جرم خشک ماهواره با جرم کل (اصلی)	$M_D = 0.5536 \times M_T + 20.805$
تعیین جرم خشک ماهواره با جرم کل (فیدبک)	$M_D = 0.4834 \times M_T + 19.748$
تعیین توان کل ماهواره (اصلی)	$P_T = 4.152 \times M_D - 1667.18$
تعیین توان کل ماهواره (فیدبک)	$P_T = 0.9662 \times M_D + 33.816$
تعیین حجم کل ماهواره (رابطه اصلی)	$V_T = 4.5717 \times e^{0.0005M_T}$
تعیین حجم کل ماهواره (رابطه فیدبک)	$V_T = 0.0136 \times M_T - 19.748$
تعیین هزینه ساخت ماهواره (اصلی)	$C_{sat} = 25.348 \times e^{0.0005M_T}$
تعیین هزینه ساخت ماهواره (فیدبک)	$C_{sat} = 0.978 \times M_T + 234$
تعیین هزینه ایستگاه زمینی	$C_{GS} = 1.5714 \times C_{sat}$
تعیین هزینه پرتاب	$C_L = 0.7857 \times C_{sat}$
تعیین هزینه بیمه	$C_A = 0.2142 \times C_{sat}$

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 5 آمده است. باید در نظر داشت به دلیل انتخاب المان‌ها با توجه به پایگاه داده ماهواره‌های پرتاب شده در صورت استفاده از این توصیه‌ها قابلیت اطمینان در طراحی در نظر گرفته شده، ولی در این روش قابلیت اطمینان به‌طور مستقیم در نظر گرفته نشده است.

5- صحه‌گذاری

در این قسمت به دو روش صحت‌سنجی روابط را انجام می‌دهیم.

- صحت‌سنجی با استفاده از روش آماری
- پیاده‌سازی روی یک ماهواره

در ادامه به تشریح دو روش یادشده پرداخته شده است.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.41.3]

جدول 4 روابط تعیین مشخصات زیرسیستم‌ها

Table 4 Sub systems specs determination formulas

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

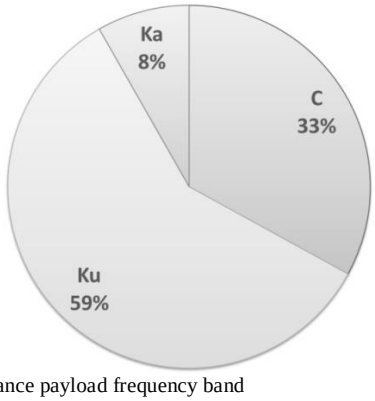

Fig. 9 Abundance payload frequency band

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 قابل‌اطمینان‌تر است. جهت جمع‌بندی، تمام مدل‌های مورد استفاده بررسی و نتایج به‌صورت جدول 6 ارائه شده است.

جدول 5 توصیه برای المان‌های زیرسیستم‌ها

Table 5 Recommended Sub system instrument

زیرسیستم	توصیه
تعیین و کنترل وضعیت	سه محوره: چرخ عکس‌العملی، جایرو، گشتاوردهنده مغناطیسی، ستاره یاب، مغناطیس‌سنج
تأمین انرژی	نوع آرایه‌ها: گالیوم آرسنایدچند اتصالی نوع باتری‌ها: لیتیوم یونی یا نیکل هیدروژن نحوه قرارگیری آرایه‌ها بازشونده و دنبال‌کننده خورشید
مخابرات و محموله	نوع آنتن: سهموی و همه جهته باند فرکانسی:به ترتیب Ku و C و Ka
مدیریت داده و فرمان	توپولوژی شبکه: باس کن و سریال معماری: مرکب یا توزیع‌شده
پیشرانش	سوخت مایع دوپایه و یونی برای حفظ مداری
سازه	مکعبی شکل با جنس هانی کامب یا آلومینیوم فضایی
کنترل حرارت	روش حرارتی: فعال، رنگ، عایق‌های چندلایه‌ی حرارتی، رادیاتور، هیتر، لوله‌های حرارتی

جدول 6 نتایج صحه‌گذاری مدل‌های آماری

Table 6 The results validation of statistical models

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

با توجه به جدول 6 تمامی مدل‌ها از دقت مناسبی برخوردار است. مدل‌های سیستمی قابل اطمینان‌ترین مدل‌هاست و مدل‌های زیرسیستم پیشرانش بیشترین خطا را خواهد داشت.

5-2- پیاده‌سازی روی یک ماهواره

جهت ارزیابی کلی الگوریتم ارائه‌شده به حل مثال نمونه با استفاده از داده‌های آماری جمع‌آوری‌شده برای یک ماهواره پرتاب‌شده در سال 2014 می‌پردازیم. برای این کار از اطلاعات یک ماهواره به‌عنوان نمونه استفاده شده است.

پارامترهای خروجی مطآ به همراه داده‌های ماهواره ساخته‌شده در جدول 7 آمده است. داده‌های ماهواره ساخته‌شده مخصوص فاز طراحی مفهومی است [16-18].

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 مطآ ارائه‌شده برای ماهواره‌های مخابراتی زمین آهنگ 15.7% است.
- مدل‌های سیستمی و زیرسیستم حرارت خطای کمی دارند.
- سایر مدل‌ها به یک میزان خطا دارند.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.41.3]

جدول 7 مقایسه نتایج طراحی مطآ و مقادیر واقعی

Table 7 Compare SDM designed results and actual values

	پارامتر	مقدار داده‌های واقعی	نتایج طراحی SDM	درصد خطا
سیستم	جرم کل (kg)	3454	3454	0
	جرم خشک (kg)	1600	1933	18
	توان کل(W)	2×3000	6359	6
	حجم (m^3)	$\cong 28$	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	--
تأمین انرژی	توان (W)	300	373	20
	جرم (kg)	290	357	19
	جنس آرایه‌ها	گالیوم آرسنایید	گالیوم آرسنایید چند اتصالی	--
	جنس باتری‌ها	نیکل هیدروژن	لیتیوم یونی یا نیکل هیدروژن	--
	نحوه قرارگیری آرایه‌ها	بازشونده و دنبال‌کننده خورشید	بازشونده و دنبال‌کننده خورشید	--
مخابرات	توان TT&C (W)	900	1030	13
	جرم TT&C (kg)	80	108	16
	تعداد ترانسپاندر	48-60	22 یا 45 (36MHz) (72MHz)	--
	نوع آنتن	سهموی	سهموی و همه جهته	--
	باند فرکانسی	Ku &S &Ka	Ku & C & Ka	--
تعیین و کنترل وضعیت	توان (W)	900	789	14
	جرم(kg)	90	111	19
	المان‌ها	سه محوره: المان‌ها در دسترس نیست	سه محوره: چرخ عکس‌العملی، جایرو، گشتاوردهنده مغناطیسی، ستاره‌یاب، مغناطیس‌سنج	--
سازه	توان (W)	0	0	0
	جرم (kg)	410	490	16
	شکل سازه	مکعبی شکل	مکعبی شکل با جنس هانی کامب یا آلومینیوم فضایی	--
کنترل حرارت	توان (W)	900	953	6
	جرم (kg)	90	119	24
	روش حرارتی	فعال	فعال	--
	المان‌های حرارتی	رنگ، عایق‌های چندلایه، لوله‌های حرارتی و...	رنگ، عایق‌های چندلایه، رادیاتور، هیتر، لوله‌های حرارتی	--
مدیریت داده و فرمان	توان (W)	300	440	32
	جرم (kg)	50	63	21
	توپولوژی شبکه	----	باس کن	--
	معماری	مرکب	مرکب یا توزیع‌شده	--
پیشرانش	توان محموله (W)	1800	1640	10
	جرم محموله (kg)	450	482	7
	توان (W)	900	1132	21
	جرم (kg)	140	203	31
	نوع پیشرانش	زنون- یونی برای حفظ مداری	سوخت مایع دوپایه و یونی برای حفظ مداری	--
	جرم پیشران	1854	1521	22

– 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 مطآ 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 یادشده به ارائه 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 سرعت‌بالای طراحی است. روش مطآ 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 دقیقه‌ایی و بدون نیاز به مراجع مختلف مهم‌ترین دستاورد این روش این است. این روش می‌تواند در فاز تدوین پیشنهادیه و طراحی مفهومی کمک بسیاری به طراحان ماهواره داشته باشد. در انتهای مقاله با استفاده از روش معرفی‌شده به استخراج مشخصات سیستمی یک ماهواره نمونه پرداخته شده است. نتایج با ماهواره ساخته شده صحه‌گذاری و خطای 15.7% به‌دست‌آمده است. این میزان خطا در برابر زمان بسیار کم (کمتر از 15 دقیقه) طراحی با این روش مناسب و قابل اتکاست. 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 مطآ 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 علایم

$ADCS$	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)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.41.3]

M_{CDH}	جرم زیرسیستم مدیریت داده و فرمان (kg)
M_{Com}	جرم زیرسیستم مخابرات (kg)
M_{D}	جرم خشک (kg)
M_{p}	جرم محموله (kg)
M_{Pay}	جرم محموله (kg)
M_{PGS}	جرم زیرسیستم تأمین انرژی(kg)
M_{Pro}	جرم زیرسیستم پیشرانش (kg)
M_{STR}	جرم زیرسیستم سازه (kg)
M_{T}	جرم کل(kg)
M_{TCS}	جرم زیرسیستم کنترل حرارت (kg)
NCR	تعداد کانال مورد نیاز
NoT	تعداد ترانسپاندر
P_{ADCS}	توان زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت (W)
P_{CDH}	توان زیرسیستم مدیریت داده و فرمان (W)
P_{Com}	توان زیرسیستم مخابرات (W)
P_{Pay}	توان محموله (W)
P_{PGS}	توان زیرسیستم تأمین انرژی (W)
P_{Pro}	توان زیرسیستم پیشرانش (W)
PrS	زیرسیستم پیشرانش
P_{T}	توان کل(W)
P_{TCS}	توان زیرسیستم کنترل حرارت (W)
SDM	مطآ
TCS	زیرسیستم کنترل حرارت
V_{T}	حجم کل (m^3)

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.

[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 Persianفارسی)

[8] A.Kosari, S.Kaviri, B.Moshiri, M.Fakoor, Design of optimal thruster configuration for attitude control of geostationery satellite, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 13, No. 13, pp. 67-77, 2014. (in Persian فارسی)

[9] A. Yahia, P. C. Aïtcin, *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.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.41.3]