JSST
Journal of Space Science and Technology
VOL.?? / ISSUE ?/ 2024/ (NO.??)
Print ISSN: 2008-4560 / Online ISSN: 2423-4516
http://doi.org/ 10.22034/jsst.2024.1472
OPEN ACCESS
Pages:???/ Research Paper/ Received: 09 January 2024/ Revised: 02 April 2024/ Accepted: 9 April 2024
Journal Homepage: https://jsst.ias.ir

Identification and Prioritization of Satellite Electrical Power Subsystem Technologies for National Development Based on Multiple Criteria Decision Making

Reza Amjadifard[1*], Ehsan Mousivand[2], Farhad Bagheroskuee [3], Shahab Karbasian[4], And Ehsan Kosari[5],

1. Assistant Professor, Satellite Research Institute, Iranian Space Research Center, Tehran, Iran

2. MSc, Satellite Research Institute, Iranian Space Research Center, Tehran, Iran

3,4 - Instructor, Satellite Research Institute, Iranian Space Research Center, Tehran, Iran

5- Ph.D. Candidate Satellite Research Institute, Iranian Space Research Center, Tehran, Iran

***Corresponding Author E-Mail: ramjadif@yahoo.com**

The prioritization and verification of space emerging technologies is a multi-step, iterative process that needs to collective intelligence (the participation of all stakeholders), as well as the use of analytical methods to identify requirements. This process begins with identifying specialists who have enough knowledge and experience regarding to each technology, and followed by extracting and evaluating the necessary data, prioritizing technology options, identifying challenging technologies and the essential acquisition strategy, and finally prioritizing them. In this article, we implemented a method to identify and prioritize some space technologies which could be used in the electrical power subsystem (EPS) of a satellite. Based on the results, it would be possible to choose the best method to access the required technology; national development or benefiting of available technology in the market. To evaluate the suggested method, the power subsystem components are divided into three categories: electrical power generation sources, energy storage sources, and power electronic circuits. Applying the proposed method shows that the selected technologies are those is recently used in space. This method can also be applied to other subsystems.

Keywords: Electrical Power Subsystem, Space Technologies, Prioritization, Multiple Decision Making, Simple Additive Weighting

Article in Press

How to Cite this Article:

R. Amjadifard, E. Mousivand, F. Bagheroskuee, Sh. Karbasian, And E. Kosari, " Identification and Prioritization of Satellite Electrical Power Subsystem Technologies for National Development Based on Multiple Criteria Decision Making," *Space Science and Technology*, vol. ??, no. ?, pp. ????, 2024 (in Persian). http://doi.org/ 10.22034/jsst.2024.1472

COPYRIGHTS
© 2024 by the authors. Published by Aerospace Research Institute. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

JSST
فصلنامهٔ علمی - پژوهشی علوم و فناوری فضایی
دوره ؟؟ / شماره ؟/ سال ؟؟؟؟/(پیاپی ؟)
شاپای چاپی: ۴۵۶۰- ۲۰۰۸ / شاپای الکترونیکی: ۴۵۱۶-۲۴۲۳
http://doi.org/ 10.22034/jsst.2024.1472
ص. ص.؟؟؟؟ / مقاله علمی- پژوهشی / دریافت: ۱۹ دی ۱۴۰۲/ بازنگری: ۱۴ فروردین ۱۴۰۳ / پذیرش مقاله: ۲۱ فروردین ۱۴۰۳
Journal Homepage: https://jsst.ias.ir

شناسایی و اولویت‌بندی فناوری‌های زیرسیستم توان الکتریکی ماهواره ها به منظور توسعه بومی بر اساس روش تصمیم گیری چند معیاره

رضا امجدی فرد [۱]*، احسان موسیوند [۲]، فرهاد باقر اسکوئی [۳]، شهاب کرباسیان [۴] و احسان کوثری [۵]

۵-۱ – پژوهشکده سامانه‌های ماهواره، پژوهشگاه فضایی ایران

*ایمیل نویسنده مخاطب : ramjadif@yahoo.com

فرآیند شناسایی و اولویت‌بندی فناوری‌های چالشی در توسعه فناوری‌های کلیدی در ساخت یک ماهواره به منظور توسعه بومی، یک فرآیند چند مرحله‌ای و رفت و برگشتی خواهد بود که نیازمند استفاده از خرد جمعی و دخیل کردن نظرات کلیه ذینفعان در کنار استفاده از روش‌های تحلیلی به منظور شناسایی الزامات و ارزیابی گزینه‌ها است. این فرآیند با شناسایی افراد خبره در هر حوزه تخصصی شروع شده و در ادامه با استخراج داده‌های مورد نیاز و ارزیابی آنها به اولویت‌بندی گزینه‌های فناوری، شناسایی فناوری‌های چالشی و استراتژی اکتساب مورد نیاز و در نهایت اولویت‌بندی آنها ختم می‌گردد. در این مقاله روشی به منظور شناسایی و اولویت بندی فناوری‌های اساسی زیرسیستم توان الکتریکی در یک ماهواره پیاده سازی شده تا به کمک نتایج آن درخصوص توسعه بومی فناوری‌های ضروری زیرسیستم فوق تصمیم‌گیری و اقدام نمود. به منظور ارزیابی بهتر نتایج، اجزای زیرسیستم توان الکتریکی به سه دسته که شامل منابع تولید انرژی، منابع ذخیره‌ساز انرژی و نهایتا مدارهای الکترونیکی می باشند، تقسیم بندی شده‌اند. نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی حاکی از مناسب بودن روش پیشنهادی است. می‌توان از این روش برای سایر زیرسیستم‌ها یا در سطوح پائین‌تر نیز استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: زیرسیستم توان الکتریکی، فناوریهای فضایی، اولویت‌بندی، تصمیم گیری چند معیاره، روش جمع وزنی.

مقدمه

راهبرد فضایی کشور دربرگیرنده چندین برنامه فضایی شامل حوزه ماهواره‌های مخابراتی، سنجش از دور، ناوبری و اکتشافات فضایی است. در این مقاله دو برنامه فضایی درخصوص رسیدن به یک ماهواره مخابراتی در مدار GEO و یک ماهواره سنجشی با دقت بهتر از یک متر در مدار LEO مد نظر قرار گرفته است. هر یک از این برنامه‌ها شامل تعداد زیادی ماهواره با مشخصات متفاوت از نظر طول عمر، مدار،

[۱] – استادیار (نویسنده مخاطب)
[۲] – کارشناسی ارشد
[۳] – مربی
[۴] – مربی
[۵] – دانشجوی دکترا

COPYRIGHTS
© 2024 by the authors. Published by Aerospace Research Institute. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

محموله و غیره می‌باشند (نظیر ماهواره‌های مخابراتی سری ناهید و ماهواره های سنجشی سری پارس). از این رو برنامه ریزی در خصوص چگونگی تامین تجهیزات مورد نیاز، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. استفاده از باس‌های مشابه (پلتفرم) به دلیل یکسان بودن فناوری‌ها در پروژه های متفاوت، به کاهش هزینه های طراحی، ساخت و آزمون منجر خواهد شد. از سوی دیگر عوامل متعددی نظیر دانش فنی، زیرساخت‌ها، قیود هزینه ای و زمانی و غیره مجریان پروژه‌ها را به تصمیم گیری بر تهیه فناوری بر اساس یکی از دو راهکارِ خرید خارج یا توسعه بومی، وادار می‌سازند. این تصمیم‌گیری باید با پشتوانه کافی علمی صورت پذیرد.

در علم فناوری، سیستم پشتیبانی از تصمیم‌گیری، شاخه‌ای از علم است که دارای جایگاه میانی در بین سیستم‌های اطلاعاتی و سیستم‌های هوشمند است [1]. در فرآیند تصمیم‌گیری، سیستم پشتیبانی نیازمند معیارها و وزن‌هایی است که در فرآیند محاسبات، استفاده می‌شود [2]. در حال حاضر، توسعه فناوری اطلاعات در حمایت از تولید داده، در شرایط مختلف زندگی قابل توجه است. از طریق استفاده از این فناوری می‌توان تصمیم سریع و دقیق‌تری نسبت به انتخاب یک موضوع گرفت. این امر به دلیل نوآوری‌های تکنولوژیکی و توانایی ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندگانه[1]امکان‌پذیر است [3].

صرف‌نظر از تنوع مسائل تصمیم‌گیری، این مسائل را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه[2]که تصمیم‌گیرنده باید با درنظر گرفتن منابع محدود یکی از گزینه‌ها را انتخاب کند و دیگری تجزیه وتحلیل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره[3] است که تصمیم‌گیرنده باید رویکردی را طراحی کند تا بیشترین کاربرد را داشته باشد. طبیعتاً برای انتخاب یک گزینه، باید چند ویژگی و اغلب بخش‌های متضاد را در نظر بگیریم. مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه[4] مدل‌های انتخابی هستند و برای ارزیابی، رتبه‌بندی و انتخاب مناسب‌ترین گزینه از بین گزینه‌ها استفاده می‌شوند [4].

هر رتبه‌بندی از گزینه‌های تصمیم‌گیری توسط یک تابع امتیازدهی تعیین می‌شود. از آنجا که گزینه‌های تصمیم‌گیری اغلب با چندین معیار متناقض مشخص می‌شوند، روش‌های چندمعیاره، برای این گزینه‌ها مناسب هستند [5]. تجزیه وتحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره، به‌طور گسترده‌ای برای حل مسائل تصمیم‌گیری مختلف از طریق ارزیابی جایگزین، استفاده می‌شود. با این حال، یافتن روش مناسب می‌تواند نتایج را تحت تاثیر قرار دهد. تجزیه وتحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، یک فرآیند چند مرحله‌ای است که شامل مجموعه‌ای از روش‌ها برای ساختارمندی و رسمی کردن فرآیندهای تصمیم‌گیری به شیوه‌ای شفاف و سازگار است. تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، طی سالیان متمادی، روش‌ها و نرم‌افزارهای زیادی را برای رفع مسائل تعریف شده توسعه داده است. روش‌های زیادی برای حل مسائل وجود دارد و می‌توان آنها را بر اساس پارامترهای مختلف مرتب کرد. هر یک از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش محاسباتی خود را دارد که به وسیله آن گزینه‌های جایگزین در رتبه‌بندی قرار می‌گیرند و نمی‌توان ادعا کرد که استفاده از روش‌های خاص با داده‌های ورودی یکسان منجر به نتیجه نهایی یکسان خواهد شد [6].

در این مقاله سعی شده است تا با روش خبرگی نسبت به شناسایی فناوری‌های مورد نیاز زیرسیستم توان الکتریکی ماهواره های تعریف شده در برنامه راهبرد فضایی کشور اقدام شود. در ادامه معیارهایی برای اولویت بندی آنها تعریف و سپس رتبه بندی می‌شوند. در نهایت نیز در خصوص چگونگی تامین آنها از طریق توسعه بومی یا خرید خارج تصمیم سازی شده است.

روش‌شناسی

در روش تصمیم گیری چند معیاری، محبوب‌ترین روش‌های مورد استفاده برای حمایت از یک فرآیند تصمیم‌گیری عبار.تند از:

- روش جمع وزنی [5]/ روش رتبه‌بندی چند هدفه ساده[6]
- روش تحلیل سلسله مراتبی[7]
- روش اولویت‌بندی بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل (تاپسیس)[8]

هر یک از این روش‌ها مزایا و معایب خود را دارند، بنابراین انتخاب مناسب‌ترین روش برای یک مساله خاص کار بسیار دشواری است. انتخاب یکی از روش‌های ذکر شده به مسئله تصمیم‌گیری، نوع معیارها، اطلاعات موجود، توانایی‌های شناختی تصمیم گیرنده و ویژگی‌های روش چند معیاره بستگی دارد. در مسائل تصمیم‌گیری واقعی، گزینه‌ها را نمی‌توان به صورت کمی ارزیابی کرد اما قابلیت ارزیابی به صورت کیفی وجود دارد [5]. از بین روش‌های فوق، روش جمع وزنی پرکاربردترین و پرتعدادترین روش در مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه است. اساس این روش بر یافتن جمع وزنی برای نشان دادن نرخ کارآمدی یکایک گزینه های موجود است [7]. از آنجا که در این روش فرآیند محاسبات با سریع‌ترین زمان به نتیجه می‌رسد و نتایج تجزیه و تحلیل بدست آمده نیز برای کمک به فرآیند تصمیم‌گیری، کارآمد و

[1] Multiple Decision-Making Techniques (MDMT)
[2] Multi Objective Decision Making (MODM)
[3] Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA)
[4] Multi-attribute decision making models (MADM)
[5] Simple Additive Weighting (SAW)
[6] Simple Multi Attribute Rating Technique (SMART)
[7] analytic hierarchy process (AHP)
[8] Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions (TOPSIS)

موثر است، لذا پرکاربردترین روش‌های مورد استفاده در تصمیم‌گیری چند هدفه کلاسیک بوده و از محبوبیت بسیاری برخوردارد است [5]. باید خاطر نشان ساخت که هدف از مسایل چندهدفه، در چهارچوب برنامه‌نویسی ریاضی، بهینه‌سازی تعدادی تابع هدف مختلف، با موضوعیت مجموعه محدودیت‌های سیستم است [8]. مدل تصمیم‌گیری چند معیاره کلاسیک، فرض می‌کند که هنگام تصمیم‌گیری، تصمیم‌گیرنده مجموعه ثابتی از معیارها را تعریف کرده و مساله با تصویر واضحی از همه گزینه‌های موجود ارائه شده است. سپس این کار با محاسبه امتیاز هر گزینه پیش می‌رود. در ادامه با رتبه‌بندی و انتخاب گزینه‌ای که بیشترین امتیاز را دارد به پایان می‌رسد [9]. اکثر مسائل تصمیم‌گیری در دنیای واقعی، پویا هستند به این معنا که تصمیم نهایی تنها در پایان یک فرآیند اکتشافی گرفته می‌شود که طی آن گزینه‌ها و معیارها، ممکن است متفاوت باشند. با این حال مدل کلاسیک تصمیم‌گیری چند معیاره قادر به درک این پویایی نیست، زیرا فرض می‌کند که قبل از ادامه رتبه‌بندی، تصمیم‌گیرنده باید مجموعه‌های ثابتی از معیارها و گزینه‌ها را شناسایی کرده باشد [9]. در جدول (۱) مقایسه‌ای بین سه روش پرکاربرد تاپسیس، تحلیل سلسله مراتبی و جمع وزنی ارائه شده است [6,10] .

روش‌های دیگری نیز مانند مالتی‌مورا[1] ویکور[2] ، کاپراس[3] ،پرومسه[4] و الکتره[5] وجود دارند. روش‌ها را بر اساس نوع نتیجه می‌توان انتخاب کرد. اگر نتیجه با عنوان مقایسه مقادیر مورد نیاز باشد، می‌توان از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی، مالتی‌مورا، روش جمع وزنی، روش ضرب وزنی[6] یا روش‌های دیگر استفاده کرد. با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی، تاپسیس، ویکور، کاپراس و سایر روش‌ها می‌توان برای رسیدن به هدف تعریف شده و یافتن بهترین جایگزین از میان گزینه‌های ارائه شده استفاده کرد. روش‌های پرومسه و الکترا مبتنی بر مقایسه زوجی و ارزیابی انطباق برای هدف مورد نظر هستند [6,11-12].

جدول ۱- مقایسه روش‌های MCDA

	TOPSIS [6]	AHP [6]	SAW [10]
نوع نرمالیزه سازی[7]	برداری (نرمالسازی- ریشه مربع مجموع)	برداری (جمع)	برداری (جمع)
مناسب برای	مسائل انتخاب، مسائل رتبه‌بندی	مسائل انتخاب، مسائل رتبه‌بندی	مسائل انتخاب، مسائل رتبه‌بندی
ورودی	ضریب وزنی گزینه‌های ایده‌آل و غیرایده‌آل	مقایسه زوجی در مقیاس نسبت ۱ تا ۹	مقایسه زوجی درمقیاس نسبت ۱تا ۹
خروجی	رتبه‌بندی کامل با امتیاز نزدیک به حالت ایده‌آل و فاصله تا حالت غیرایده‌آل	رتبه‌بندی کامل با امتیازات	رتبه‌بندی کامل با امتیازات
رویکرد	کیفی/ کمی	کیفی	کمی
مقیاس رتبه‌بندی	۰ تا ۱	۰ تا ۱	متناسب با نوع مساله متغیر
بهترین جایگزین	بیشترین مقدار	بیشترین مقدار	بیشترین مقدار
سطوح سازگاری	بدون محدودیت	۹	کمتر از ۰,۱

روش جمع وزنی، ساده‌ترین و پرکاربردترین روش در میان روش‌های MCDM[8] است [2,13,14,15]. در این روش، به هر معیار؛ وزنی تخصیص داده می‌شود به نحویکه مجموع وزن تمامی معیارها برابر یک شود. هر گزینه می‌تواند با همه معیارها مرتبط باشد. لذا امتیاز کارآمدی برای هر گزینه به راحتی قابل محاسبه خواهد بود. در این روش وزن هر ویژگی باید مشخص باشد که این کار توسط تصمیم‌گیرندگان با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی در نظر گرفته می‌شود و در نهایت امتیاز کلی با استفاده از مجموع حاصل‌ضرب معیارها و وزن هر ویژگی تعیین می‌شود [2].

به طور کلی، تمام مسائل مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه را می‌توان به شکل یک ماتریس نشان داد. هر ردیف از این ماتریس نشان‌دهنده یک جایگزین و هر ستون نشان‌دهنده یک ویژگی است و عناصر آن کارایی گزینه‌ها در برابر ویژگی‌ها است. ویژگی‌هایی که برای تصمیم‌گیری انتخاب می‌شوند معمولا متناقض هستند. همچنین با توجه به اهمیت نسبی ویژگی‌ها می‌توان برای آنها وزن قائل شد. با فرض بردار وزنی برای ویژگی‌ها و عناصر ماتریس تصمیم‌گیری، می‌توان مسائل مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه را با تکنیک‌های موجود حل کرد و بهترین جایگزین را انتخاب کرد یا آنها را رتبه‌بندی کرد. در روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه کلاسیک، اغلب فرض بر این است که تمام داده‌های مورد استفاده (مانند وزن ویژگی‌ها، کارایی گزینه‌ها در برابر ویژگی‌ها و ...) قطعی هستند. سپس نمره نهایی یا سودمندی گزینه‌ها با حل مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه به‌دست می‌آید. پس از حل مسائل تصمیم‌گیری، معمولا باید یک تحلیل حساسیت انجام شود. تحلیل حساسیت این ویژگی را دارد که کمترین تغییر در

[1] Multi-Objctive Optimization on the basis of Ratio Analysis (MOORA)
[2] Vikor
[3] Complex Proportional Assessment (COPRAS)
[4] Preference Ranking Organization Method for the Enrichment of Evaluations (PROMETHEE)
[5] Elimination and Choice Translating Reality (ELECTRE)
[6] Weighted Product Method
[7] Type of Normalized
[8] Multi-Criteria Decision-Making

Archive of SID

فصلنامهٔ علمی- پژوهشی علوم و فناوری فضایی
دورهٔ ؟؟ / شمارهٔ ؟/ فصل ؟؟؟؟ (پیاپی ؟؟)

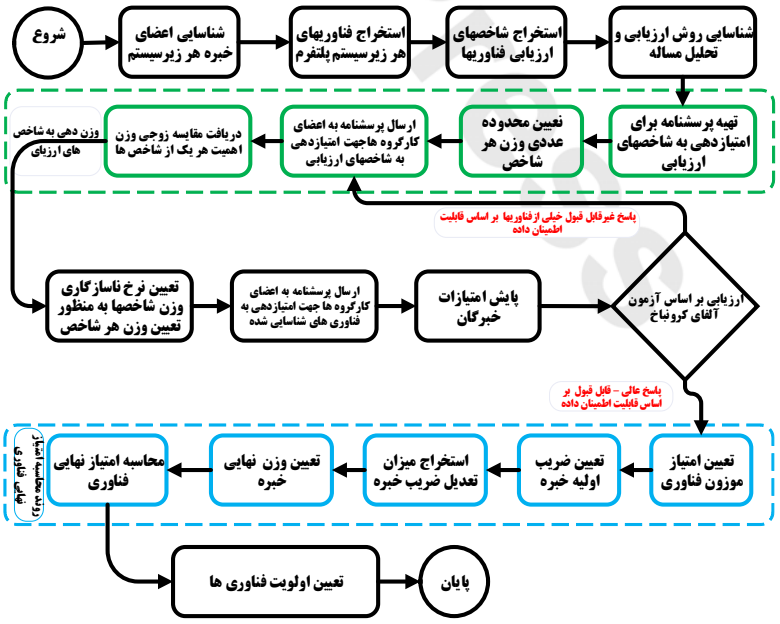
وزن آن نسبت به سایرین، منجر به تغییر در رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌شود. آنالیز حساسیت را می‌توان در نرم‌افزارهای مرتبط با مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه برای حل مسائل تصمیم‌گیری به‌کار برد. مهم ترین مسئله در مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه این است که داده‌های استفاده شده در آن ها ناپایدار و قابل تغییر هستند، بنابراین تحلیل حساسیت پس از حل مسئله می‌تواند به طور موثر به تصمیم‌گیری دقیق کمک کند. تحلیل حساسیت مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه یکی از موضوعات مورد بحث در زمینه مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه است و در دهه‌های اخیر تحقیقات زیادی در مورد آن انجام شده است [4].

روش جمع وزنی، روشی است که در این پژوهش با هدف اولویت‌بندی فناوری‌های زیرسامانه تامین توان الکتریکی ماهواره‌های برنامه راهبرد فضایی کشور، مورد استفاده قرار گرفته است. این روش به این دلیل انتخاب شد که معمولا برای ارتقای تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. همچنین با شرایط ساده‌تری می‌توان به اولویت‌بندی جهت اخذ تصمیم مناسب دست یافت.

پیاده سازی طرح

زیرسیستم توان الکتریکی در هر ماهواره وظیفه تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز کلیه اجزای ماهواره را طی عمر ماموریت و نیز کلیه مودهای عملکردی آن به عهده دارد. این زیر سیستم غالباً شامل منبع تولید انرژی، منبع ذخیره‌سازی انرژی (برای تامین انرژی طی زمان‌هایی که منبع تولید فعال نبوده و یا توانایی پشتیبانی بیشینه توان مصرفی را ندارد)، انواع مبدل‌های سطوح ولتاژ، رگولاتورهای سری یا موازی و نهایتاً مجموعه مدارهای توزیع توان به مصرف‌کننده‌ها (سایر زیرسیستم‌ها و محموله های ماهواره) می‌باشد.

فرایند شناسایی و اولویت بندی فناوری‌های مرتبط با زیرسیستم توان الکتریکی مطابق با روند نمای نشانداده شده در شکل (۱) اجرا شده است.



شکل ۱– روندنمای اولویت‌بندی فناوری‌های زیرسیستم توان الکتریکی ماهواره

در ادامه جزئیات پیاده سازی فعالیت‌های معرفی شده در روند نمای شکل (۱)، تشریح شده است.

تعیین خبرگان و شناسایی فناوری‌ها

گام نخست از اجرای طرح، شناسایی فناوری‌های مرتبط با زیرسیستم توان یک ماهواره می‌باشد. برای این منظور پرسشنامه هایی تنظیم و در اختیار تعدادی از خبرگان این حوزه که تجربه عملی در طراحی، ساخت و آزمون اجزای این زیرسیستم را داشته اند قرار گرفت تا فناوری‌های به روز و پرکاربرد را مشخص و معرفی کنند. در این پژوهش از تجربه ۵ نفر خبره با سابقه ۱۱ تا ۲۱ سال کار تخصصی در زمینه طراحی، ساخت و آزمون زیرسیستم توان الکتریکی تعدادی از پروژه های ماهواره‌ای اجرا شده در داخل کشور استفاده شده است. از آنجا که درخت محصول برای این زیرسیستم شامل سه بخش

"تولید" [16]، "ذخیره‌سازی" و "تبدیل و توزیع" می‌باشد، فناوری‌های این زیرسیستم نیز به تفکیک بخش‌های معرفی شده، بر اساس نظر خبرگان مشخص گردید که نتیجه آن در جدول (۲) نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که بخش "تبدیل و توزیع" شامل مجموعه ای از مدارهای الکترونیکی با عملکردهای متنوع می‌باشد. این مدارهای الکترونیکی به کمک قطعاتی طراحی و ساخته می‌شود که می‌توانند دارای سطوح کیفی متفاوت باشند. به همین دلیل فناوری‌های این بخش براساس نوع و تکنولوژی قطعات استفاده شده در آنها بیان شده‌است. لازم به ذکر است که در این تحقیق به منظور افزایش اعتبار داده‌های اخذ شده از خبرگان، بر اساس سوابق علمی و تجربی ایشان، ضرایبی برای داده های مرتبط با حوزه‌های تخصصی و عمومی هر نخبه تعیین و در پردازش‌های آتی استفاده شده است. جدول (۳) نمونه ای از قالب بکارگرفته شده برای این منظور را نشان می‌دهد.

جدول ۲- فناوری‌های زیرسیستم توان الکتریکی

بخش	نام فناوری
تولید انرژی	پنل سیلیکانی
	پنل گالیم ارسنایدِ
	پنل با متمرکز کننده
	پنل با منعکس کننده
	RTG
	تتر (Tether)
ذخیره سازی	باتری نیکل کادمیوم
	باتری نیکل هیدروژن
	باتری لیتیم یون
	باتری لیتیوم- پیشرفته
	سوپر خازن
نوع قطعات	COTS
	MIL
	Space/RadHard
تکنولوژی قطعات	Si
	SiC
	GaN

جدول ۳- قالب شناسایی و ارزیابی افراد خبره

نام و نام خانوادگی	حوزه‌های تخصصی		حوزه‌های عمومی	امتیاز حوزه تخصصی	امتیاز حوزه عمومی
خبره ۲	تبدیل و توزیع انرژی، تشعشعات فضایی		کلیه اجزای زیر سیستم	۱,۵	۰,۷۵

شاخص‌های ارزیابی

در این پژوهش ۵ شاخص طبق جلسات کارشناسی با خبرگان تعیین گردید که در جدول (۴) ارائه شده‌اند. از آنجا که تاثیر گذاری شاخص‌های معرفی شده، در تعیین ارزش هر فناوری متفاوت است لذا باید برای هر شاخص، وزنی در نظر گرفته شود. بر این اساس روش مقایسه زوجی انتخاب و از خبرگان شرکت‌کننده در این پژوهش خواسته شد تا اهمیت شاخص‌های تعیین شده را با هم مقایسه کنند. برای این منظور از اعداد ۱ تا ۹ و با تعاریف مشخص شده در جدول (۵) برای مقایسه شاخص‌ها نسبت به یکدیگر استفاده شده است. جدول (۶) نمونه ای از جداول تکمیل شده توسط خبرگان برای تعیین وزن معیارها می‌باشد. در این جدول به عنوان مثال اگر میزان اهمیت شاخص C1 (میزان همسویی با ماهواره-های راهبرد) نسبت به شاخص C4 (هزینه و زمان مورد نیاز با فرض توسعه داخل) برابر عدد ۵ باشد، میزان اهمیت شاخص C4 نسبت به شاخص C1 برابر ۰/۲خواهد بود.

جدول ۴- شاخص‌های ارزیابی فناوری‌ها

شاخص	تعریف شاخص
C1	میزان همسویی با ماهواره‌های راهبرد
C2	سررسید تحقق فناوری
C3	میزان ریسک‌های فنی در دستیابی به فناوری
C4	هزینه و زمان مورد نیاز با فرض توسعه داخل
C5	سرریز فناوری در سایر حوزه‌ها

جدول ۵- تعیین اعداد تخصیص داده شده برای معیارها

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	مقدار عددی
کاملا مرجح یا کاملا مهم‌تر یا کاملا مطلوب‌تر	۹
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	۷
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	۳
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱

جدول ۶- مقایسه زوجی اهمیت شاخص‌ها نسبت به یکدیگر

شاخص	C1	C2	C3	C4	C5	وزن (W)
C1	۱	۳	۰/۳۳۳	۵	۰/۳۳۳	۰/۱۷۰
C2	۰/۳۳۳	۱	۰/۳۳۳	۱	۰/۲	۰/۰۷۲
C3	۳	۳	۱	۳	۰/۳۳۳	۰/۲۳۹
C4	۰/۲	۱	۰/۳۳۳	۱	۰/۲	۰/۰۶۵
C5	۳	۵	۳	۵	۱	۰/۴۵۴
مجموع	۷/۵۳۳	۱۳	۵	۱۵	۲/۰۶۶	۱

Manuscript Preview

در ستون آخر از جدول (۶) وزن شاخص‌ها (W) به روش میانگین هندسی، محاسبه شده است. این پارامتر حاصل تقسیم میانگین هندسی اعداد هر ردیف بر مقدار متوسط میانگین‌های هندسی است. پارامتر فوق در آزمون سازگاری و برای ارزیابی امتیازهای دریافت شده از خبرگان استفاده خواهد شد.

آزمون سازگاری

برای اجرای آزمون سازگاری در گام اول باید بردار جمع وزنی شاخص‌ها[1](WSM) را مطابق جدول (۷) محاسبه نمود.

جدول ۷- محاسبه بردار جمع وزنی شاخص ها

C1	C2	C3	C4	C5		W		WSM
۱	۳	۰/۳۳	۵	۰/۳۳		۰/۱۷۰		۰/۹۴۱
۰,۳۳	۱	۰/۳۳	۱	۰,۲		۰/۰۷۲		۰/۳۶۳
۳	۳	۱	۳	۰,۳۳	×	۰/۲۳۹	=	۱/۳۱۱
۰/۲	۱	۰/۳۳	۱	۰/۲		۰/۰۶۵		۰/۳۴۱
۳	۵	۳	۵	۱		۰/۴۵۴		۲/۳۶۴

در گام دوم باید بردار سازگاری را مطابق جدول (۸) محاسبه نمود.

جدول ۸- محاسبه بردار جمع وزنی شاخص ها

WSM		W		بردار سازگاری (CV)
۰/۹۴۱		۰/۱۷۰		۵/۵۲۵
۰/۳۶۳		۰/۰۷۲		۵/۰۶۶
۱/۳۱۱	/	۰/۲۳۹	=	۵/۴۹۴
۰/۳۴۱		۰/۰۶۵		۵/۲۶۱
۲/۳۶۴		۰/۴۵۴		۵/۲۰۵

گام سوم محاسبه متوسط عناصر بردار سازگاری است که λ نامگذاری شده است (رابطه ۱).

$$\lambda = \frac{5.525 + 5.066 + 5.494 + 5.526 + 5.205}{5} = 5.31 \qquad (۱)$$

در گام چهارم شاخص سازگاری به کمک رابطه ۲ به دست می‌آید. در این رابطه n سایز ماترس است.

$$\text{شاخص سازگاری} = \frac{\lambda - n}{n - 1} \qquad (۲)$$

مقدار به‌دست آمده برای شاخص سازگاری برابر ۰/۰۷۷۵ خواهد بود. در گام چهارم نرخ سازگاری[2]محاسبه می‌شود. برای این منظور از رابطه ۳ استفاده می‌کنیم.

$$\text{نرخ سازگاری} = \frac{\text{شاخص سازگاری}}{\text{شاخص تصادفی}} \qquad (۳)$$

شاخص تصادفی، وابسطه به سایز ماتریس (n) بوده و برای ماتریسی با سایز ۵ برابر با ۱/۱۲ می‌باشد [10]. بر این اساس مقدار نرخ سازگاری برابر ۰/۰۶۵ محاسبه شده و چون این مقدار کمتر از ۰/۱ است، داده های دریافت شده از خبره، قابل اتکا می‌باشد [17].

تعیین امتیاز و اولویت بندی فناوری‌ها

پس از مشخص شدن وزن معیارها، نوبت به تعیین امتیاز هر فناوری است. برای این منظور جداولی تهیه و در اختیار خبرگان قرار گرفت تا خبرگان بطور مستقل به معیارهای پنج‌گانه که برای هر فناوری در نظر گرفته شده است، امتیازی تخصیص دهند. این امتیازات در ادامه و پس از انجام پردازش‌های لازم منجر به تعیین امتیاز نهایی فناوری‌ها خواهد شد. جدول (۹) قسمتی از یک جدول تکمیل شده می‌باشد.

جدول ۹- قالب دریافت امتیاز فناوری‌ها از خبرگان

خبره	نام فناوری	شاخصهای ارزیابی فناوری				
		هماهنگی با ماهواره های راهبرد	مدت زمان تحقق فناوری	کاربرد فناوری در سایر حوزه ها	هزینه اکتساب با فرض توسعه بومی	ریسک فنی در مسیر توسعه
		امتیاز (۰تا۵)	امتیاز (۰تا۵)	امتیاز (۰تا۵)	امتیاز (۱تا۵-)	امتیاز (۱تا۵-)
خبره۱	پنل سیلیکانی	۲	۴	۳	-۱	۱
خبره۱	پنل GaAs	۵	۵	۲	-۲	۱
خبره۱	پنل بامتمرکزکننده	۱	۳	۱	-۴	-۲
خبره۱	...	...	...	...	...	...
خبره۱	GaN	۲	۳	۴	-۱	-۲

پس از جمع آوری نظرات خبرگان لازم است صحت داده‌های جمع‌آوری شده مورد تأیید قرار گیرد. برای این منظور از آزمون آلفای کرونباخ[3]بهره خواهیم گرفت. آلفای کرونباخ، معیاری است که برای ارزیابی پایایی یا سازگاری درونی مجموعه‌ای از مقیاس‌ها یا آیتم‌های آزمایشی استفاده می‌شود. ضریب آلفای کرونباخ برای سنجش میزان تک بعدی بودن نگرش‌ها، قضاوت‌ها و یا به تعبیر دیگر تعیین میزان همراستایی نظرات خبرگان به یکدیگر استفاده می‌شود. این معیار به کمک رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{k \times \bar{c}}{\bar{v} + (k-1)\bar{c}} \qquad (۴)$$

در رابطه فوق، k به تعداد شاخص‌ها، $\bar{c}$ به میانگین تمام کوواریانس های بین شاخص‌ها و $\bar{v}$ به میانگین واریانس هر شاخص اشاره دارد. بنابراین، آلفای کرونباخ تابعی از تعداد شاخص‌های یک آزمون، میانگین کوواریانس بین جفت شاخص‌ها و واریانس امتیاز کل است. مقدار این معیار در محدوده صفر تا ۱ متغیر است. اگر همه شاخص‌ها کاملاً مستقل از یکدیگر باشند (یعنی همبستگی یا هیچ

[1] Weighted Sum Vector

[2] Consistency Ratio (CR)

[3] Cronbach's Alpha

کوواریانسی نداشته باشند)، آنگاه مقدار این ضریب برابر عدد صفر است و اگر همه شاخص‌ها، کوواریانس بالایی داشته باشند، با نزدیک شدن تعداد شاخص‌ها به بی نهایت، مقدار این ضریب به عدد ۱ نزدیک می‌شود. به عبارت دیگر، هر چه ضریب بالاتر باشد، شاخص‌ها دارای کوواریانس مشترک بیشتری بوده و احتمالاً همان مفهوم اساسی را می‌سنجند [18].

با اعمال رابطه فوق بر داده‌های دریافتی از خبرگان، برای فناوری‌هایی که مقدار α کمتر از ۰/۷ به دست آید، داده‌ها برای بازنگری به خبرگان بازگردانده می‌شوند.

همانطور که پیش‌تر نیز اشاره شد، جمع وزنی ساده (برمبنای میانگین وزنی) یکی از پرکاربردترین روش‌های مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است. این روش ساده بوده و مبنای اکثر تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه مانند تحلیل سلسله مراتبی و پرومسه است که از خاصیت افزایشی برای محاسبه امتیاز نهایی گزینه‌ها بهره می‌برد. در روش جمع وزنی ساده، امتیاز نهایی هر گزینه به کمک رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$P_i = \sum_{j=1}^{k} w_i . r_{ij} \; ; \qquad i = 1.2 \ldots . m \qquad (۵)$$

در رابطه (۵)، پارامتر r_{ij}، مقادیر نرمال‌شده عناصر ماتریس تصمیم بوده (بهره[1] شاخص ها) و به صورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$r_{ij} = \frac{d_{ij}}{d_j^{Max}} ; \; d_j^{Max} = \underset{1 \le i \le m}{Max} \; d_{ij} \; ; \; j = 1.2 \ldots . k \qquad (۶)$$

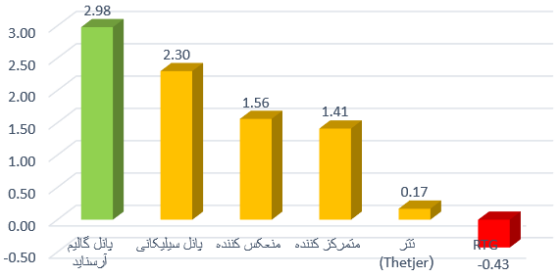
در رابطه (۶) پارامتر d_{ij} مقدار ویژه j امین شاخص برای جایگزین i ام است، به عبارت دیگر کارایی جایگزین i ام در برابر شاخص j ام را بیان می‌کند. به منظور تعیین هزینه[2]شاخص‌ها از رابطه (۷) استفاده می‌کنیم.

$$r_{ij} = \frac{d_j^{Min}}{d_{ij}} ; \; d_j^{Min} = \underset{1 \le i \le m}{Max} \; d_{ij} \; ; \; j = 1.2 \ldots . k \qquad (۷)$$

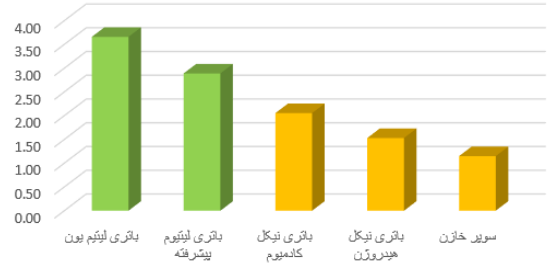
لازم به ذکر است در مواردی که ویژگی‌های کیفی وجود داشته باشد، می‌توان از روش‌های دیگر برای تبدیل متغیرهای کیفی به کمی استفاده کرد [4].

اما مطابق با روندنمای ارائه شده در شکل (۱)، برای تعیین امتیاز نهایی هر فناوری، گام‌های زیر اجرا شده است.

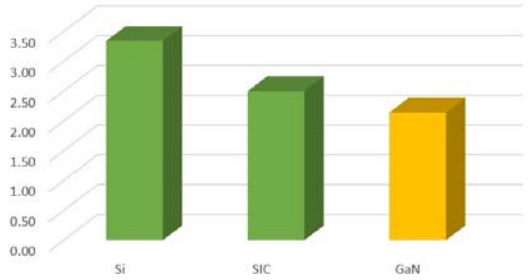
در گام نخست امتیاز موزون هر فناوری محاسبه می‌شود بدین ترتیب که امتیاز داده شده برای هر فناوری برای هر شاخص را در وزن آن شاخص ضرب نموده تا امتیاز موزون فناوری بدست آید. لازم به ذکر است که به ازای هر خبره یک امتیاز جداگانه برای هر فناوری حاصل خواهد شد. در گام دوم میزان تعدیل ضریب خبره را محاسبه می کنیم. بدین ترتیب که برای تعیین این ضریب کافی است ضریب خبره (جدول ۳) در هر حوزه را در بزرگترین مقدار مجموع ضریب خبرگان (در میان تمام فناوری‌های) ضرب و بر مقدار مجموع ضریب خبره آن فناوری، تقسیم کنیم. به عبارت دیگر ضرایب برای مقایسه متناسب‌سازی می‌شوند. گام سوم تعیین وزن نهایی خبره می‌باشد که طی آن مقدار ضریب تعدیل شده خبره را بر بزرگترین مجموع ضریب خبره (جدول ۳) تقسیم می‌کنیم. در گام چهارم برای محاسبه امتیاز نهایی فناوری و بر اساس وزن خبره، کافی است که امتیاز موزون فناوری در وزن خبره (برای تمام خبرگان) ضرب شده و آنها را در نهایت با هم جمع کنیم. در گام آخر پس از تعیین امتیاز هر یک از فناوری‌ها در هر زیرسامانه، فناوری‌ها بر اساس امتیاز از بزرگترین مقدار به کم‌ترین مقدار مرتب شده و در نهایت به سه دسته اولویت بالا، متوسط و پایین تقسیم بندی می‌شوند. نتیجه نهایی برای سه دسته فناوری مشخص شده در شکل‌های (۲) تا (۵) ارائه شده است.



شکل ۲– امتیاز و اولویت فناوری‌های بخش تولید توان



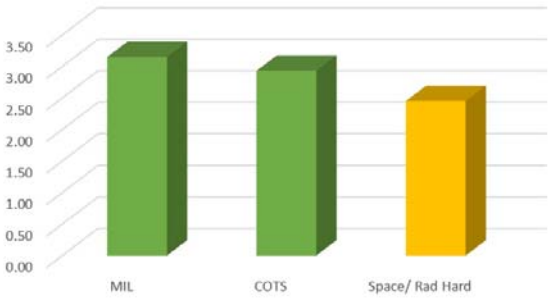
شکل ۳– امتیاز و اولویت بندی فناوری‌های بخش ذخیره توان



شکل ۴– امتیاز و اولویت بندی تکنولوژی قطعات

[1] Profit

[2] Cost



شکل ۵- امتیاز و اولویت بندی نوع قطعات

مقایسه کلی تمامی فناوری‌های مشخص شده در جدول (۲) نیز در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

جدول ۱۰- امتیاز و اولویت کلیه فناوری‌ها

نام فناوری	امتیاز نهایی فناوری	نوع اولویت
باتری یتیوم-یون	۳/۶۶	بالا
قطعات سیلیکانی	۳/۳۴	بالا
قطعات نظامی	۳/۱۵	بالا
پنل گالیم آرسناید سه لایه	۲/۹۸	بالا
قطعات COTS	۲/۹۳	بالا
باتری لیتیوم-یون پیشرفته	۲/۸۹	بالا
قطعات SiC	۲/۵۰	بالا
قطعات Rad-Hard	۲/۴۵	متوسط
پنل سیلیکانی	۲/۳۰	متوسط
قطعات GaN	۲/۱۴	متوسط
باتری نیکل کادمیوم	۲/۰۶	متوسط
پنل با منعکس کننده	۱/۵۶	متوسط
باتری نیکل هیدروژن	۱/۵۲	متوسط
پنل با متمرکز کننده	۱/۴۱	پایین
سوپر خازن	۱/۱۵	پایین
تتر (Tether)	۰/۱۷	پایین
RTG	-۰/۴۲	پایین

مطابق شکل (۲)، در میان فناوریهای بخش تولید انرژی الکتریکی، پنل‌های خورشیدی که از سلول‌های گالیم آرسناید سه پیوندی بهره می‌گیرند، بیشترین اولویت و مولدهای حرارتی که از رادیوایزوتوپ به عنوان منبع انرژی بهره می‌گیرند از کمترین اولویت برخوردار هستند. خاطر نشان می‌شود که این اولویت بندی بر اساس مشخصات ماهواره های مورد نیاز در برنامه راهبرد فضایی کشور حاصل شده است. این نتیجه نیز برای متخصصین این حوزه دور از انتظار نبود زیرا غالب ماهواره های موجود در مدار LEO با ماموریت‌های مشابه مخابراتی و سنجشی و طول عمر ماموریتی در مرتبه چند سال، از پنل‌های خورشیدی به عنوان منبع تولید توان بهره می‌گیرند. منابع RTG نیز غالبا در ماموریت‌های خاص بویژه بین سیاره‌ای یا کاوشگرهای خاص مورد استفاده قرار میگیرند. استفاده از پنل‌های سیلیکانی یا پنل‌های دارای متمرکز کننده یا منعکس کننده و حتی تتر نیز در موارد خاص مشاهده می‌شود. به همین ترتیب در ارتباط با منابع ذخیره ساز توان (شکل۳)، باتری های لیتیوم یون بیشترین و سوپر خازن‌ها کمترین اولویت را دارند. مناسب بودن دانسیته جرمی و توانی این نوع باتری در مقایسه با سایر منابع و نیز سابقه مناسب کاربرد آن در پروژه های اجرا شده در کشور، خود گواه امتیاز بالای این نوع باتری در مقایسه با سایر منابع ذخیره ساز می‌باشد. مطابق شکل (۴) هرچند اخیرا با توسعه تکنولوژی GaN امکان افزایش فرکانس سوئیچینگ و به تبع آن کاهش ابعاد مبدل‌ها ممکن شده است اما همچنان استفاده از قطعات سیلیکانی به دلیل سابقه و تنوع آنها مقبولیت بیشتری دارد. از نظر نوع قطعات، بیشترین امتیاز را قطعات نظامی (و تجاری با فاصله اندک) به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۵) و در مقابل قطعات مقاوم شده در برابر تشعشع از اولویت کمی برخوردار هستند که این می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی نظیر، عدم تنوع، دسترسی کم، هزینه بالا و نهایتا وجود راهکارهای کم هزینه دیگر برای مقاوم سازی مدارهای الکترونیکی در برابر تشعشعات فضایی باشد. امروزه قطعات GaN به دلیل قابلیت پیاده‌سازی مدارهای پرسرعت مورد توجه می‌باشند، لیکن محدودیت‌هایی نظیر تنوع، هزینه و ... می‌تواند از جمله دلایلی باشد که اولویت آن‌ها را در میان قطعات الکترونیکی کاهش داده است.

نتیجه گیری

در این مقاله یک روش سیستماتیک برای شناسایی و اولویت بندی فناورهای مرتبط با زیرسیستم توان الکتریکی فضاپیماها به منظور توسعه در داخل کشور مطرح شده است. این روش بر اساس پردازش داده های دریافت شده از نخبگان حوزه مشخص شده است. تعریف و وزن‌دهی شاخص‌های ارزیابی با کمک روش مقایسه زوجی و نیز پردازش نهایی داده ها بر اساس روش جمع وزنی اجرا شده است. فناوری‌های مورد مطالعه به سه دسته منابع تولید انرژی، منابع ذخیره‌سازی انرژی و نهایتا، نوع و قطعات مورد استفاده در مدارهای الکترونیکی تقسیم بندی شده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده، در این میان پنل‌های خورشیدی گالیم آرسنایدی، در میان فناوری‌های منابع تولید انرژی، باتری‌های لیتیوم یونی در میان فناوری‌های ذخیره‌سازهای انرژی و قطعات نظامی و تجاری بر پایه سیلیکان، در میان قطعات الکترونیک از بالاترین اولویت برخوردار هستند. روش پیشنهادی قابل پیاده سازی برای بسیاری دیگر از زیرسیستم‌های فضایی و یا حوزه های دیگری از صنایع می‌باشد.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

مراجع

[1] M. Puspa, “Decision Support System for Supplementary Food Recipients (PMT) By Using The Simple Additive Weighting (SAW) Method”, *Jurnal Teknik Informatika C.I.T*, vol. 11, no. 2, 2019.

[2] D. W. T. Putra, A. A. Punggra, “Comparison Analysis of Simple Additive Weighting (SAW) and Weigthed Product (WP) In Decision Support Systems”, *ICTIC (MATEC Web of Conferences 215, 01003)*, 2018.

[3] V. Sihombing, V. M. M. Siregar, W. S. Tampubolon, M. Jannah, Risdalina, A. Hakim, “Implementation of simple additive weighting algorithm in decision support system”, *Annual Conference on Computer Science and Engineering Technology (AC2SET), IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2021.

[4] A. Memariani, A. Amini, A. Alinezhad, “Sensitivity Analysis of Simple Additive Weighting Method (SAW): The Results of Change in the Weight of One Attribute on the Final Ranking of Alternatives”, *Journal of Industrial Engineering*. no. 4, pp 13-18, 2009.

[5] K. Piasecki, E. Roszkowaka, A. L. Hanckowiak, “Simple Additive Weighting Method Equipped with Fuzzy Ranking of Evaluated Alternatives”, *symmetry*, 2019.

[6] B. ZLAUGOTNE, L. ZIHARE, A. KALNBALKITE, A. KHABDULLIN, D. BLUMBERGA, “Multi- Criteria Decision Analysis Methods Comparison”, *Environmental and Climate Technologies*, vol. 24, no. 1, pp 454-471, 2020.

[7] S. Wulandari, A. P. Wibowo, “DEVELOPMENT OF SAW (SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING) METHOD FOR DECISION SUPPORT SYSTEM OF SEMBAKO PRICE CONTROL (Case Study of the Office of Agriculture, Fisheries and Forestry, Sleman Regional Government), *International Journal of Engineering, Technology and Natural Sciences*, vol. 1, no. 1 July 2019.

[8] S. J. Sadjadi, M. Habibian, V. Khaledi, “A Multi-Objective Decision Making Approach for Solving Quadratic Multiple Response Surface Problems”, *Int. J. Contemp. Math. Sciences*, vol. 3, no. 32, pp 1595-1606, 2008.

[9] G. Campanella, R. A. Ribeiro, “A framework for dynamic multiple-criteria decision making”, *Contents lists available at ScienceDirect (Decision Support Systems)*, no. 52, pp52-60, 2011.

[10] A. Afshari, M. Mojahed, R. M. Yusuff, “Simple Additive Weighting approach to Personal Selection problem”, *International Journal of Innovation, Management and Technology*, vol. 1, no. 5, December 2010.

[11] L. FEI, J. XIA, Y. FENG, L. LIU, “An ELECTRE-Based Multiple Criteria Decision Making Method for Supplier Selection Using Dempster-Shafer Theory,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 84701-84716, 2019.

[12] X. Yu, S. Zhang, X. Liao, X. Qi, “ELECTRE methods in prioritized MCDM environment”, *ELSEVIER (ScienceDirect)*, no. 424, pp 301-316, 2018.

[13] K. Savitha, C. Chandrasekar, “Vertical Handover decision schemes using SAW and WPM for Network selection in Heterogeneous Wireless Networks,” *Global Journal of Computer Science and Technology*, vol. 11, no. 9, May 2011.

[14] D. Anggraini, H. T. Sihotang, “Decision Support System for Choosing The Best Class Guardian With Simple Additive Weighting Method”, *Jurnal Mantik*, vol. 3, no. 3, November 2019.

[15] A. Ibrahim, R. A. Surya, “The Implementation of Simple Additive Weighting (SAW) Method in Decision Support System for the Best School Selection in Jambi”, *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1338*, 2019.

[16] O. Shekoofa, F. Bagheroskouei, and R. Amjadifard, "System-level evaluation of the operation of different solar array structures for various CubeSat configurations," Space Science and Technology, vol. 15, no. 3, pp. 93-108, 2022 (in Persian).

[17] S. Pant, A. Kumar, M. Ram, Y. Klochkov, and H.K. Sharma, “Consistency Indices in Analytic Hierarchy Process: A Review,” *Mathematics*, vol. 10, pp.1-15, 2022.

[18] University of Virginia Library (Research Data Services+ Sciences), (2015, November 16), “Using and Interpreting Cronbachs Alpha”, [On-line]. Available: https://data.library. virginia.edu/using-and-interpreting-cronbachs-alpha/