مقاله علمی-ترویجی

مروری بر چند مدل ارزیابی پیشـــنهادی برای مقایسه سازندگان ماهواره از دید اپراتورهای ماهواره

پدرام حاجی پور*، عضو هیات علمی پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران، ایران، hajipour@itrc.ac.ir

غلامرضا ضمیریان، پژوهشگر پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات،تهران، ایران، zamirian@itrc.ac.ir

پروین سجودی سردرود، پژوهشگر پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات،تهران، ایران، p.sojoodi@itrc.ac.ir

*نویسنده مسئول

چکیده

یکی از مهمترین عوامل ایجاد رقابت در نسل‌های آینده ارتباطات ماهواره‌ای، برخورداری از یک سیستم ماهواره‌ای مناسب می‌باشد. برای این امر لازم است تا اپراتورهای ماهواره‌ای، با در نظر گرفتن ملاحظات فنی و اقتصادی از میان سازندگان مختلف ماهواره انتخاب مناسبی داشـــته باشند. بنابراین، لزوم انتخاب سازنده از میان ســـازندگان موجود در این حوزه به‌عنوان یک چالش جدی مطرح می‌باشد. در این مقاله به مرور چندین روش بررســـی و مقایسه معیارهای ارزیابی سازندگان ماهواره بر مبنای روش‌های بیشترین بیشینه، لکزیکوگرافی، رضایت‌بخش خاص و رضایت‌بخش عطفی که جزو الگوریتم‌های رایج ریاضی برای مقایســـه پارامترها در یک مســـاله هدف خواهد بود، پرداخته شده و در نهایت روش جامع و کاملتری نسبت به کارهای قبلی با ایجاد یک ماتریس ارزیابی متقابل و بر حسب معیارهای اصلی و فرعی، برای ارزیابی ســـازندگان ماهواره از دید اپراتور ارایه شده اســـت. در این مقاله برای انتخاب بهتر و کاراتر، ۹ معیار اصلی و ۲۶ معیارفرعی بر حســـب نوع سرویس و خدمات پیشروی ارتباطات ماهواره‌ای به‌منظور ارزیابی و انتخاب مابین سازندگان ماهواره ارایه و با کارهای قبلی مقایسه شده است.

کلمات کلیدی: ارتباطات ماهواره‌ای، رتبه‌بندی، اپراتور ماهواره‌ای، مدل ارزیابی

An overview of several proposed evaluation models to compare satellite manufacturers from the perspective of satellite operators

Pedram hajipour,Faculty member of ICT Research Institute,Tehran, Iran. hajipour@itrc.ac.ir

Gholamreza zamirian, Researcher at ICT Research Institute,Tehran, Iran, zamirian@itrc.ac.ir

Parvin sojoodi sardrood, Researcher at ICT Research Institute,Tehran, Iran, p.sojoodi@itrc.ac.ir

Abstract

One of the most important factors in creating competition in future generations of satellite communications is to have a proper satellite system. For this reason, it is necessary for satellite operators to have a suitable choice

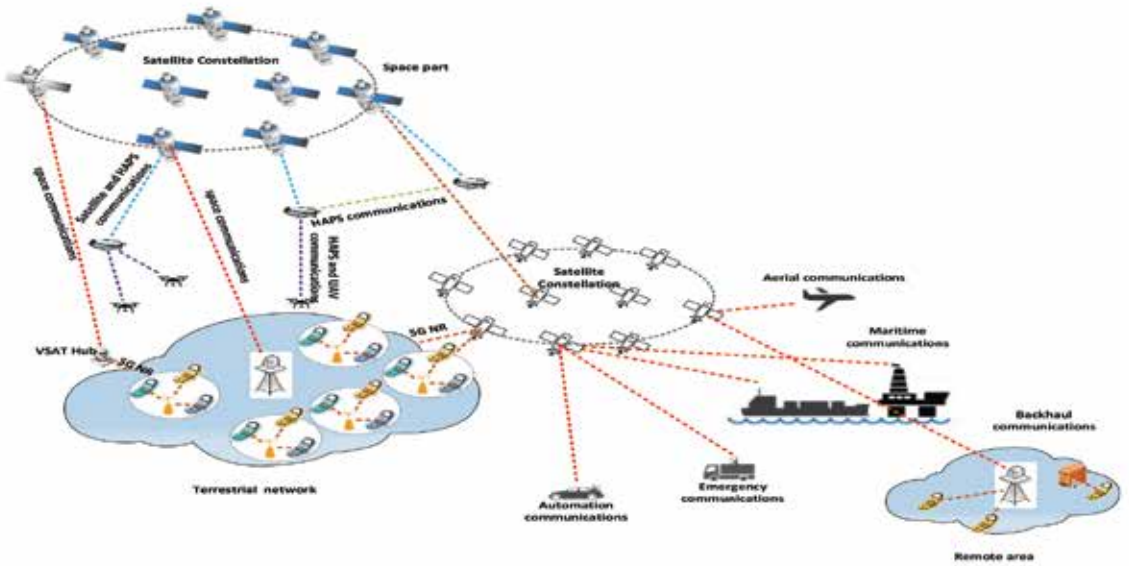
among different satellite manufacturers, taking into account technical and economic considerations. Therefore, the necessary to select a manufacturer from among the existing manufacturers in this field is a serious challenge. In this paper, we review several methods and compare the evaluation criteria of satellite manufacturers based on the methods of MAXI MAX, Lexicography, non-compensatory decision making and compensatory decision making, which will be a booklet of common mathematical algorithms to compare parameters in a target problem. Finally, a more comprehensive and complete method than previous works has been presented based creating a cross-evaluation matrix according to the main- criteria and side-criteria to evaluate the satellite manufacturers by the satellite operator. In this paper, for better and more efficient selection, nine main criteria and twenty-six side-criteria according to the type of service and favor of satellite communications are presented in order to evaluate and select among satellite manufacturers and compare with previous works.

Keywords: Satellite communications, Ranking, Satellite operator, Evaluation model

۱- مقدمه

امروزه نقش و جایگاه ارتباطات ماهواره‌ای در شبکه‌های ارتباطی نسل پنجم و بعد از آن، به‌منظور گسترش پوشش جغرافیایی و پاسخگویی به تقاضاهای روزافزون برای ارایه سرویس‌های نوین مخابراتی مانند آموزش از راه دور، خدمات پزشکی، سرویس‌های برخط در ارتباطات خودرویی هوشمند و غیره در هر مکان و در هر زمان، امری مهم و حیاتی می‌باشد[۳-۱]. علت این امر دسترس‌پذیری و قابلیت اطمینان بالای یک سیستم ماهواره‌ای نسبت به سایر بسترهای ارتباطی به‌خصوص در مناطق دورافتاده و بدون زیرساخت‌های ارتباطی می‌باشد که می‌تواند به‌عنوان یکی از روش‌های ارتباطی پایدار با قیمت و هزینه کمتر در بازه زمانی درازمدت نسبت به سایر زیرساخت‌های زمینی مانند لینک رادیویی و فیبر نوری مورد استفاده قرار گیرد. از مهمترین ویژگی‌های یک سیستم ماهواره‌ای بر خلاف سایر روش‌های ارتباطی، عدم آسیب‌پذیری آن در حوادث طبیعی مانند زلزله است به همین دلیل می‌تواند به‌عنوان پشتیبان شبکه‌های ارتباطی زمینی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به رشد فناوری و جهت برآورد الزامات تاخیر در ارتباطات، منظومه‌های ماهواره‌ای در مدار پایین زمین مورد توجه قرار گرفته است. امروزه داشتن یک شبکه ماهواره‌ای متشکل از یک یا چند ماهواره در قالب شبکه ماهواره‌ای در ارتفاعات مداری یکسان یا مختلف به همراه یک شبکه ارتباطات زمینی برای همگرایی با شبکه ارتباطی جدید مانند نسل پنجم و بعد از آن به‌منظور پاسخگویی به نیازهای روز افزون سرویس‌های نوین مطرح می‌باشد. شبکه‌های بیان شده با عنوان شبکه‌های ترکیبی ماهواره با بستر زمینی (STIN) شناخته می‌شوند[۶-۴]. بنابراین با توجه به گسترش و تنوع خدمات و سرویس‌های نوین مخابراتی در این نوع شبکه‌های ترکیبی متشکل از بستر زمینی و ماهواره لزوم انتخاب یک سیستم ماهواره‌ای با کارآیی و قابلیت اطمینان بالا به‌عنوان یک ضرورت در توسعه شبکه‌های ارتباطات مخابراتی هر کشور و به‌عنوان یکی از عوامل توسعه رشد اقتصادی می‌بایست مد نظر قرار گیرد. در شکل (۱) معماری پیشنهادی این نوع شبکه‌های نوین مخابراتی ارایه شده است، همان‌طورکه در این شکل مشخص است در این ساختار مجموعه‌ای از ماهواره‌ها در قالب منظومه‌های ماهواره‌ای به‌منظور انتقال داده، ارایه بکهال ماهواره‌ای، توسعه پوشش‌دهی خدمات در نقاط دور افتاده و غیر قابل دسترس به ارایه خدمات می‌پردازند[۷].

اپراتورهای ماهواره‌ای در یک یا چند کشور می‌توانند ارایه دهنده سرویس از طریق لینک ماهواره‌ای به کاربران نهایی خود با توجه



شکل ۱: معماری پیشنهادی برای شبکه‌های آینده مخابراتی مبتنی بر ماهواره [۷]

بـه نیازهـای داخلی و یا حتی بین‌المللی باشـند. هر اپراتـور ماهواره‌ای بنا به طرح و سیاسـتی که کشـورها در اسـتفاده از سـرویس ماهواره‌ای دارنـد و بـا ملاحظـه قوانیـن و مقـررات حـوزه ملـی و بیـن المللـی فضایـی، بخشـی از دارایـی خـود را جهـت اجـاره یـا خریـد ماهـواره هزینـه خواهنـد نمـود. ایـن هزینه‌کرد باید به گونه‌ای باشـد که سـود قابـل توجهـی از ارایـه خدمـات ماهـواره‌ای عایـد اپراتورها شـود. طبق اطلاعات آماری ارایه شـده توسـط اپراتورهای ماهـواره‌ای، چهار اپراتور ماهـواره‌ای کـه در جـدول (۱) مشـاهده می‌گـردد، دارای بیشـترین میـزان درآمـد حاصلـه از ارایـه سـرویس ثابـت ماهـواره‌ای تـا ابتـدای سـال ۲۰۲۰ میـلادی بودنـد. طبـق بررسـی‌های به‌عمل آمده نسـبت بـه سـال ۲۰۰۶ میلادی و بر حسـب درآمدهای حاصلـه در آن، میزان رشـد درآمـد بـه ترتیـب دارای ۷۹/۰۲، ۱۹/۳۱، ۱۸/۴۵ و در نهایـت ۲۰/۵۱ درصـد بـوده اسـت. این میزان رشـد درآمد، بیانگـر توجه ویژه اپراتورهـای ماهـواره‌ای بـه نیاز و خواسـته کاربـران ملـی و بین‌المللی بـه منظـور افزایـش درآمـدی در سـال‌های آتـی می‌باشـد. اپراتورهای ماهـواره‌ای بـرای بهبـود عملکـرد اقتصـادی خود می‌بایسـت به سـراغ سـازندگان ماهـواره و در نهایـت پرتاب‌کننـدگان مطمئنـی برونـد که بتوانـد بـا انتخاب فناوری در سـاخت و پرتاب ماهواره، توجیه مناسـبی بـرای سـرمایه‌گذاری خود در میان کشـورهای تامین‌کننـده مالی آنها و دریافت‌کننـدگان خدمـات ماهـواره‌ای نماینـد. بنابرایـن یـک اپراتور ماهـواره‌ای بـر حسـب نـوع سـرویس(ها) می‌بایسـت بـه مشـخصاتی کـه یـک سیسـتم ماهـواره‌ای داشـته باشـد، توجه جـدی نمایـد. یک دسـته‌بندی کلـی از ایـن نـوع مشـخصات در جـدول (۲) آورده شـده اسـت. بنابرایـن لـزوم داشـتن یـک معیـار ارزیابی مناسـب بـه منظور مقایسـه سـازندگان ماهـواره ضـروری به‌نظـر می‌رسـد. سـازندگان سیسـتم‌های ماهـواره‌ای در زمینـه طراحـی و سـاخت ماهواره‌هـای بـزرگ تجـاری مخابراتـی در نقـاط مـداری مختلـف در حـال فعالیت می‌باشـند.

طراحـی و سـاخت ماهواره‌هـای کوچـک، آماتـوری و مکعبـی در ارتفاعـات پایین‌تـر ماننـد LEO نیـز امـروزه مـورد توجـه قـرار گرفته اسـت. همچنیـن پرتابگـران سیسـتم‌های ماهـواره‌ای بـر حسـب نوع و مشـخصات فنـی پرتابگـر خـود ماهواره‌هـا را در مدار قـرار می‌دهند. کشـور ایـران در دو حـوزه طراحـی و سـاخت ماهـواره غیرمخابراتـی کوچـک و همچنیـن پرتـاب آنهـا موفقیت‌هایـی کسـب کـرده اسـت. امروزه، شـرکت‌های پیشـرو در زمینه طراحی و سـاخت انواع ماهواره‌ها در دنیـا وجـود دارند کـه از جمله آنها می‌توان از شـرکت‌های OHB SE و Airbus Defence and Space در اروپا و شـرکت Space & Security Boeing Defense در امریـکا نـام بـرد. همچنین شـرکت‌های سـازنده ماهواره‌هـای کوچک مخابراتی در امریکا AeroAstro, Inc.، در اسـپانیا Alén Space می‌باشـند. در زمینـه طراحـی پرتابگرهـا نیـز می‌توان به پرتابگر کشـور هلند بـه نـام Delft Aerospace Rocket Engineering و در کشـور هنـد به نام ISRO اشـاره نمـود. البته پرتابگرهایی توسـط چندین کشـور طراحی و سـاخته شـده که می‌تـوان به Arianespace، Eurockot Launch Services، COSMOS International و غیره اشـاره نمود.

جدول ۱: مقایسه درآمدی اپراتورهای ماهواره‌ای از حیث درآمدی تا ابتدای سال ۲۰۲۰ میلادی[۱۱-۸]

اپراتورماهواره	Viasat	INTELSAT	SES	EUTELSAT
مالکیت	لوکزامبورگ	آمریکا	لوکزامبورگ/ آمریکا	فرانسه
تعداد ماهواره پرتاب شده	۵۲	۴	۵۹	۳۷
تعداد ماهواره آماده پرتاب	۶	۱	۸	۶
میزان درآمد حاصله در سال ۲۰۲۰ میلادی	۲/۰۶۸ میلیارد دلار	۲/۰۶۱ میلیارد دلار	۱/۹۸۳ میلیارد دلار	۱/۳۲۱ میلیارد دلار
میزان درصد رشد درآمد نسبت به سال ۲۰۰۶ میلادی	۷۹/۰۲	۱۹/۳۱	۱۸/۴۵	۲۰/۵۱

همان‌طورکـه گفته شـد، لزوم داشـتن معیارهایی کـه اپراتورها بتوانند سـازندگان مختلـف را بـا یکدیگـر از دیـد فنـی و اقتصـادی مقایسـه نماینـد، امـری اجتناب‌ناپذیـر اسـت. هـدف از ایـن مقالـه، ارایـه یـک مجموعـه معیـار ارزیابـی بـر حسـب واقعیت‌هـای امـروزی اقتصـاد

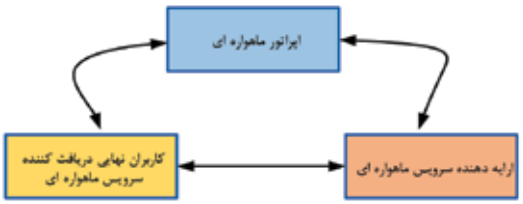
جدول۲: عوامل مورد توجه در انتخاب نوع ماهواره بر حسب نوع سرویس

مشخصات سرویس فضایی	عوامل مورد توجه
باند فرکانسی مجاز به‌خصوص باندهای فرکانسی جدید در نسل‌های آتی شبکه نوین مخابراتی	نحوه ارایه ظرفیت بر حسب باند فرکانسی و همچنین ساختار محموله از منظر شفاف یا قابلیت پردارشی بودن آن و یا ترکیبی از آن دو در ساختار هایبریدی
باند باریک یا پهن باند بودن	میزان ظرفیت بر حسب نوع محموله
حساسیت / عدم حساسیت سرویس به تاخیر	ارتفاع مداری
نحوه ارایه سرویس به کاربران نهایی	نوع طراحی و ساخت محموله به همراه سیستم و زیر سیستم‌های به‌کار رفته در آن مانند ساختار و چیدمان آنتن فرستنده-گیرنده و نحوه طراحی بخش RF، گیرنده، تغذیه و غیره
میزان قابلیت اطمینان بر حسب دوره زمانی ارایه سرویس	میزان طول عمر ماهواره ساخته شده بر حسب کیفیت در طراحی و ساخت و در نهایت پرتاب ماهواره

صنعت ماهواره می‌باشد. در بخش دوم مقاله به بررسی مولفه‌های اقتصادی در زنجیره اقتصادی صنعت ماهواره پرداخته خواهد شد. در بخش سوم به ارایه انواع مدل‌های ارزیابی معیارها (اصلی و فرعی) و رتبه‌بندی آنها مابین سازندگان مختلف ماهواره بر حسب مدل‌های قبلی موجود در مقالات و مدل‌های جدید بر حسب نیازهای امروزی و آینده بر حسب مدل‌های رایج ریاضی خواهیم پرداخت. در مدل پیشنهادی به استخراج وزن هرکدام از معیارهای اصلی و فرعی در قالب یک ماتریس ارزیابی متقابل پرداخته و مدل بالا با سایر مدل‌های قبلی و ارایه شده در مقاله مقایسه خواهد شد. در نهایت، در بخش آخر به بررسی نتایج و مقایسه آنها با کار(های) قبلی پرداخته خواهد شد.

۲- بررسی مولفه‌های مهم در زنجیره اقتصادی ماهواره

امروزه، اپراتورهای ماهواره‌ای بزرگ دنیا برای افزایش میزان سودآوری و ثروت‌آفرینی خود، به دنبال افزایش رضایتمندی مشتریان خود نسبت به خواسته‌ها و انتظارات موجود می‌باشند. بنابراین، امروزه بیشتر این نوع اپراتورها، به دنبال ارایه مدل جامع ارزیابی و نظارت سیستم‌های ماهواره‌ای خود که در حال ارایه سرویس و خدمات می‌باشند، هستند[۱۲]. باید توجه نمود که ارایه چنین مدل ارزیابی، مستلزم شناخت کل زنجیره ارتباطی از اپراتور ماهواره‌ای به‌عنوان نهاد بالادستی زنجیره و در نهایت کاربران زمینی به‌عنوان مصرف‌کننده خدمات در انتهای زنجیره خواهد بود. همان‌طورکه در شکل (۲) مشخص است، هر نوع اپراتور ماهواره‌ای برای ارایه خدمات و سرویس به کاربران نهایی، می‌بایست از یک یا چند سیستم ماهواره استفاده نماید. این زنجیره بر اساس نحوه تعامل بین یک اپراتور ماهواره در بالاترین سطح تا کاربران نهایی با توجه به سازوکار مرجع [۱۳]پیشنهاد و ارایه شده است.



شکل۲: جایگاه و نحوه ارتباط مابین اپراتور ماهواره‌ای و کاربران به منظور ارایه خدمات سرویس‌های ماهواره‌ای [۱۳]

بنابراین، فرایند به‌کارگیری و انتخاب سیستم ماهواره در این زنجیره می‌تواند بر حسب برنامه راهبردی، اقتصادی و سیاسی هر اپراتور ماهواره‌ای تعیین گردد.

۳- انواع معیارهای ارزیابی و انتخاب سیستم ماهواره‌ای از دید اپراتور ماهواره‌ای

به‌طورکلی، داشتن معیارهای انتخاب و الویت‌بندی بین سازندگان و ارایه‌دهندگان خدمات ساخت و پرتاب یک سیستم ماهواره‌ای برای اپراتورهای ماهواره‌ای فرایندی سخت و چالش‌برانگیز خواهد بود. با وجود تعداد کم سازندگان ماهواره در دنیا، فرایند انتخاب و ارزیابی می‌تواند باعث ایجاد رقابت میان آنها و بهبود حضور آنها در بازارهای داخلی و خارجی گردد. برای همین منظور لازم است تا خبرگان حوزه صنعت ارتباطات ماهواره‌ای با توجه به ملاحظات سیاسی، اقتصادی و حقوقی، معیارهایی را برای ارزیابی و انتخاب سازندگان ماهواره ارایه نمایند. یکی از روش‌های ارزیابی برای هر نوع سیستم پیچیده، استفاده از مدل‌های آماری ریاضی خواهد بود که قادر است معیارها و یا حتی زیر معیارهای تعیین شده را نظیر به نظیر با یکدیگر مقایسه نماید. در همین راستا در مرجع [۱۴]، یک فرایند ارزیابی بر حسب مدل آماری (MCDM) برای ارزیابی عملکرد یک سیستم مطرح شده که در آن بر حسب یک سری معیارهای اصلی و زیر معیارهای فرعی الگوی ارزیابی پیشنهاد شده است. هدف از این شیوه ارزیابی، انتخاب بهترین گزینه یا وزن‌دهی به عوامل تاثیرگذار در فرایند ارزیابی خواهد بود. به طور کلی در حالتی‌که نقاط ضعف یا قوت یک معیار نسبت به نقاط ضعف یا قوت سایر معیارهای دیگر در فرایند ارزیابی مستقل باشد، جزء مدل‌های غیرجبران‌کننده تصمیم‌گیری (NCDM) در مدل آماری MCDM شناخته می‌شوند. هر چند که مدل آماری MCDM، مدل جبرانی تصمیم‌گیری (CDM) نیز دارد که در این مقاله به‌واسطه داشتن روش‌های آماری ساده و غیرقابل انعطاف در مدل‌های ارزیابی مورد توجه قرار نمی‌گیرد. به‌طورکلی، مدل‌های غیرجبرانی، شامل روش‌هایی مانند بیشترین بیشینه، روش Lexicography، رضایت‌بخش خاص و رضایت‌بخش عطفی می‌باشد که در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت[۱۵].

در ادامه به بررسی معیارها و زیر معیارهای پیش‌بینی شده در مقاله بر حسب تجربیات گذشته در [۱۶] و نیازهای پیش رو در ارتباطات ماهواره‌ای برحسب ضرورت و دلیل اهمیت وجود آنها خواهیم پرداخت.

۱- معیار طراحی سیستم (SD) ماهواره‌ای به جز محموله مخابراتی شامل مکانیزم طراحی، سیستم ردیابی و هدایت، سیستم کنترل وضعیت، سیستم پیشرانش، سیستم توزیع توان، سیستم کنترل حرارتی، سیستم مدیریت و تبادل داده خواهد بود[۱۷].

۲- ارزیابی انواع محموله مخابراتی (CPT) قابل ارایه توسط سازندگان ماهواره در قالب سه دسته بر اساس روشی که سیگنال را پردازش می‌کنند، عبارتند از:

۲-۱- ترانسپوندرهای شفاف یا لوله خم‌شده: ترانسپوندرهای شفاف سیگنال فراسو را طوری پردازش می‌کنند که تنها فرکانس و دامنه آنها تغییر کند و مدولاسیون و شکل طیفی آن تغییر نکند.

۲-۲- ترانسپوندرهای بازمولد: در ترانسپوندرهای باز مولد برخی پردازش‌ها در ماهواره انجام شده و سیگنال دریافتی پیش از ارسال مجدد تغییر می‌کند.

۲-۳- ترانسپوندرهای ترکیبی شفاف و باز مولد: این نوع ترانسپوندرها دارای دو بخش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مجزا هستند که قادرند به‌وسیله یک ساختار سویچ ماتریس پیش‌بینی شده در هر زمان و بر حسب نوع و میزان کیفیت خدمات مورد انتظار برای کاربران نهایی به‌طور همزمان از دو نوع ترانسپوندر ترکیبی شفاف و باز مولد بر حسب الویت بهره ببرند[۱۸].

۳- معیار میزان ظرفیت محموله (PC) بر حسب باند فرکانسی که شامل باندهای فرکانسی پایین مانند X، L و C که بیشتر در ماهواره‌های نظامی به منظور ارایه سرویس‌های نظامی و یا سرویس‌های مخابراتی کم ظرفیت کاربرد خواهد داشت. همچنین باندهای میانی مانند Ku و Ka که امروزه در ماهواره‌هایی با ظرفیت انتقال بالا کاربرد دارند. در نهایت باندهای فرکانسی بالا مانند تراهرتز بوده که در آینده نزدیک در شبکه‌های ماهواره

نسل ششم کاربرد خواهد داشت[۲۱-۱۹].

۴- معیار سوابق سازنده (HM) بر حسب تعداد پروژه‌های مرتبط با طراحی، ساخت و تست ماهواره و همچنین پرتاب موفق آن خواهد بود[۱۶].

۵- معیار عملکرد ماهواره (SF) بر حسب نوع ماهواره‌های در نظر گرفته شده که می‌توان به سرویس‌های مختلف مانند سرویس‌های مخابراتی، مشاهده زمین، ناوبری و سیستم موقعیت یابی جهانی(GPS) توسط ماهواره، توسعه‌های فنی و غیره اشاره نمود[۲۲].

۶- معیار میزان هزینه (C) ساخت شامل هزینه طرح ماهواره(SP)، هزینه ساخت به همراه تست ماهواره، هزینه پرتاب ماهواره، هزینه بیمه ماهواره (SI) ناشی از پرتاب ناموفق و نهایتا سایر هزینه‌های اجرایی ناشی از الزامات فضایی خواهد بود. البته هزینه دیگری نیز می‌توان بواسطه برخی از الزامات فنی در طراحی‌های مختلف پیش‌بینی نمود که البته در مقایسه با ۳ هزینه اصلی دیگر مقدار آن ناچیز خواهد بود[۲۴-۲۳].

۷- معیار طول عمر(L) ماهواره در مدار که بر حسب ارتفاع مداری و نوع ماموریت تعیین خواهد گردید[۱۶].

۸- معیار تجهیزات زمینی(GS) قابل عرضه توسط سازندگان ماهواره به منظور ردیابی، کنترل و مدیریت تبادل داده‌های مورد نیاز خواهد بود[۱۶].

۹- معیار مدت زمان ساخت ماهواره‌ها (TD) توسط سازندگان این نوع شبکه‌های ترکیبی از ماهواره خواهد بود. باید توجه نمود که طبق قوانین و مقررات موجود درسازمان بین المللی مخابرات برای برخی از نقاط مداری، محدودیت زمانی برای پرتاب و قرارگیری ماهواره پیش‌بینی شده است. بنابراین معیار فوق عامل مهمی در ارتباط با این موضوع خواهد بود[۱۶].

۳-۱-روش ارزیابی متقابل معیارها بر حسب نمره‌دهی در مدل AHP

در این بخش، مطابق با مدل AHP یک سری معیار و زیرمعیار برای ارزیابی سازندگان ماهواره‌های مخابراتی بر حسب معیارهای پیشنهادی توسط نویسندگان مقاله ارایه می‌گردد. به طور کلی، مدل AHP توسط آقای توماس ساتی[۲۵]، برای ارزیابی و انتخاب بین سیستم‌های پیچیده بر حسب معیارهای پیش‌بینی شده ارایه شد. روش امتیازدهی در این مدل بر مبنای مقایسه دو به دو معیارها در قالب ماتریس ارزیابی متقابل بود که مقدار عددی این مقایسه‌ها بر حسب اهمیت و ضرورت یک معیار نسبت به معیار دیگر در جدول (۳) ارایه شده است.

۳-۲- روش ارزیابی معیارها مطابق با روش بیشترین بیشینه

در این روش بر حسب نه معیار اصلی پیش‌بینی شده با اهمیت‌ترین معیار به عنوان معیار تاثیرگذار انتخاب شده و هر سازنده ماهواره‌ای که بیشترین امتیاز را در آن معیار اخذ کند، به عنوان سازنده برتر ماهواره شناخته خواهد شد.

جدول۳: شیوه امتیازدهی معیارها در مدل AHP[۱۶] و[۲۵]

میزان درجه تفاوت معیارها و زیر معیارها	امتیاز
یک معیار نسبت به دیگری بسیار بسیار مهمتر است.	۹
یک معیار نسبت به دیگری بسیار مهمتر است.	۷
یک معیار مهمتر از معیار دیگری است.	۵
یک معیار کمی از معیار دیگر در الویت است.	۳
دو معیار از لحاظ اهمیت در یک سطح قرار دارند.	۱

۳-۳- روش ارزیابی معیارها مطابق با الگوریتم روش Lexicography

در این روش ارزیابی به هرکدام از نه معیار اصلی ذکر شده در قسمت قبلی بر حسب ضرورت و اهمیت بر حسب یک معیار مشخص، یک نمره مطابق با جدول(۴) داده خواهد شد. سپس معیارها بر مبنای درصدی از ۱۰۰ که نرمالیزه شده است و درصد اهمیت هرکدام از معیارها بین زیر معیارهای اصلی بر حسب بیشترین میزان درصد کسب شده مطابق با جدول (۴) الویت‌بندی خواهد شد.

این روش ساده‌ترین روش ارزیابی بوده که در آن اهمیت معیارها دو به دو نسبت به یکدیگر در وزن‌دهی نهایی در نظر گرفته نخواهد شد. اساس کار این روش ارزیابی، بدین صورت است که بالاترین معیار بر مبنای وزن‌دهی بیشتر در ارزیابی مورد توجه قرار می‌گیرد. اگر در معیار نخست ارزیابی، هر دو سازنده ماهواره در رتبه نخست قرار بگیرند، به سراغ معیار بعدی از نظر وزن‌دهی رفته و سازندگان ماهواره، نسبت به آن معیار ارزیابی و رتبه‌بندی خواهند شد. همان‌طورکه در جدول (۴) مشخص است، در این روش ارزیابی داشتن تجهیزات زمینی مناسب به منظور ردیابی، کنترل و مدیریت تبادل داده‌های مورد نیاز دارای بیشترین درجه اهمیت به میزان ۲۲/۵ درصد و طراحی یک سیستم ماهواره‌ای به جز محموله مخابراتی در کنار ظرفیت قابل حصول در ماهواره دارای کمترین درجه اهمیت به میزان ۳/۲ درصد خواهد بود. این روش ارزیابی بی‌شک نمی‌تواند روش مناسبی برای ارزیابی یک سیستم ماهواره‌ای باشد چون در صورت دادن وزن بیشتر به یک معیار با توجه به یک معیار مشخص می‌تواند، ارزیابی جامع و کاملی برای یک سازنده ماهواره از دید اپراتور ماهواره‌ای ایجاد نکند. نقطه ضعف این روش ممکن است عدم اهمیت کم یک معیار در طراحی و ساخت ماهواره به‌دلیل انتخاب یک معیار مشخص و از پیش تعیین شده در ارزیابی‌ها باشد. این در حالی است که در کل معیارها، شرایط به‌گونه‌ای دیگر باشد.

جدول ۴: ماتریس ارزیابی معیارهای اصلی سازندگان منظومه ماهوارهای بر حسب مدل Lexicography

ارزیابی معیارها	SD	PC	L	C	CT	CPT	TD	HM	GS
نسبت به معیار SD	1	1	3	3	3	3	5	5	7
نرمالیزه شده معیارها	≈0.032	≈ 0.032	≈ 0.096	≈ 0.096	≈ 0.096	≈ 0.096	≈ 0.161	≈ 0.161	≈ 0.225
درصد وزن دهی معیارها	≈ 3.2	≈ 3.2	≈ 9.6	≈ 9.6	≈ 9.6	≈ 9.6	≈ 16.1	≈ 16.1	≈ 22.5
درجه الویت	4		3				2		1

جدول۵: معیارها و زیر معیارهای پیشنهادی در مدل AHP بر حسب مراجع مختلف

ردیف	معیارها	زیر معیارها	معیار ارزیابی مرجع [۱۶]	زیر معیارهای پیشنهادی در مدل AHP	وزن دهی زیر معیارهای پیشنهادی بر حسب درصد	مراجع
1	System design (SD)	Structure & Mechanism (S&M)	✓	✓	۱۱/۸	[17]
		Telemetry, tracking, and command	×	✓	۱۳/۵	
		Attitude Orbital Control (AOC)	✓	✓	۱۶/۲	
		Propulsion (Pr)		✓	۱۱/۸	
		Power(P)	×	✓	۴۱/۱	
		Thermal Control (TC)	×	✓	۴/۱	
		Command & Data Handling (C&DH)	×	✓	۲۸/۵	
2	Communication pay-load type (CPT)	Bent pipe (B)	×	✓	۲۵	[18]
		Regenerative (R)	×	✓	۲۵	
		Hybrid (H)	×	✓	۵۰	
3	Payload capacity (PC)	Lower band (X,L and C)	✓	✓	≈۱۱/۱۱	[19]
		Ku band	✓	✓	≈۴۴/۴۴	
		Ka band	✓	✓	≈۳۳/۳۳	
		Upper band (Q,V and Terahertz)	×	✓	≈۱۱/۱۱	
4	Heritage of manufac-ture (HM)	Company Heritage (CH)	✓	✓	۳۰	[16]
		Platform Heritage (PH)		✓	۷۰	
5	Satellite function(SF)	Communication	×	✓	۶۱	[22]
		Earth observation	×	✓	۲۷	
		Navigation/GPS	×	✓	۵/۷	
		Technical Development	×	✓	۵/۷	
		Other	×	✓	۰/۶	
6	Cost(C)	Satellite design (SD)	✓	✓	۱۵	[23-24]
		Satellite manufacturing (SM) (Production and test)		✓	۴۰	
		Satellite manufacturing (SM) (Production Launch Cost (LC) and test)	×	✓	۱۰	
		Satellite insurance (SI)	×	✓	۳۰	
		Other costs (Operational tasks due to the space requirements)	×	✓	۵	
7	Life time(L)	--	✓	✓	۱۰۰	[16]
8	Ground segment(GS)	--	✓	✓	۱۰۰	
9	Time to delivery (TD)	--	✓	✓	۱۰۰	

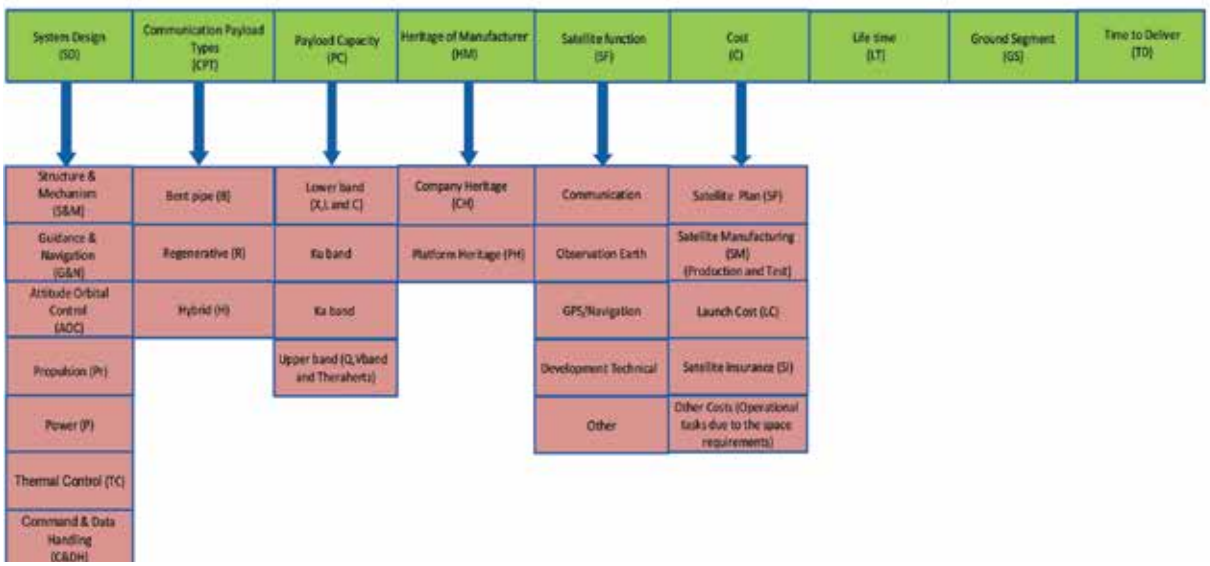
۳-۴- روش ارزیابی معیارها مطابق با روش رضایت‌بخش خاص

در این روش بر حسب ۹ معیار اصلی پیش‌بینی شده یک مقدار عددی به عنوان میزان قابل پذیرش آن معیار (آستانه برای حد قابل قبول) در نظر گرفته می‌شود و اگر گزینه‌ای تنها در یکی از معیارهایش به این حد مطلوب نرسد آن سازنده ماهواره از ارزیابی نهایی حذف خواهد شد.

۴- روش پیشنهادی ارزیابی معیارها و زیر معیارها

مطابق با جدول (۵) و بر حسب مراجع[۲۴-۱۶]، در این مقاله یک مدل ارزیابی جامع‌تری برای ارزیابی یک سازنده ماهواره، مطابق با شکل (۳) بر حسب ۹ معیار اصلی و ۲۶ زیرمعیار برای هرکدام از معیارهای اصلی، ارایه شده است. باید توجه نمود که در جهت تکمیل معیارها و زیر معیارهای ارایه شده در مرجع[۱۶] و بر حسب سرویس‌ها و نیازهای پیش رو در حوزه صنعت ارتباطات ماهواره‌ای، علاوه بر افزودن برخی زیر معیارهای جدید به هفت معیار قبلی، دو معیار اصلی دیگر نیز در کنار به منظور بررسی واقعی‌تر مدل ارزیابی استفاده شده است. این دو معیار اصلی شامل نوع محموله مخابراتی و همچنین نوع عملکرد سیستم ماهواره طراحی شده خواهد بود. با توجه به نوع ماموریت برخی از سیستم‌های ماهواره‌ای نیاز به پردازش سیگنال دریافتی از تجهیزات زمینی را نخواهند داشت. بنابراین بدون هیچ‌گونه پردازشی سیگنال دریافتی را به ایستگاه زمینی دیگر ارسال خواهند نمود. در اصل سیستم ماهواره در این شرایط نقش یک رله را خواهد داشت. اما در برخی از سیستم‌های ماهواره‌ای که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند، نیاز به پردازش سیگنال دریافتی به‌واسطه حذف تداخلات احتمالی، اعمال فرایند کدینگ یا دیکدینگ برای ارسال یا دریافت سیگنال خواهند داشت. در فرایند انتخاب و ارزیابی معیارها و زیر معیارهای اصلی، اپراتور ماهواره‌ای با استخدام مشاوران خبره داخلی و خارجی که در حوزه طراحی، ساخت، تست و تجمیع سیستم ماهواره‌ای تجربه کافی دارند، به بررسی معیارها و زیرمعیارهای پیشنهادی می‌پردازد تا با وزن‌دهی مناسب و رتبه‌بندی سازندگان و پیشنهادکنندگان ساخت یک سیستم ماهواره بهترین آنها را برگزینند. در نهایت وزن‌دهی هرکدام از معیارها و زیر معیارها می‌بایست متناسب با اهداف هر پروژه ماهواره‌ای به صورت پیشنهادی و بر حسب اهمیت هرکدام از آنها توسط همان مشاوران خبره و با تایید اپراتور ماهواره‌ای تعیین و مشخص گردد. در مدل پیشنهادی نیز وزن‌دهی بر اساس اهمیت هرکدام از معیارها و زیر معیارها در مراجع ارایه شده در جدول (۵) پیشنهاد شده و بر اساس آن نتایج مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

بر حسب مدل AHP در[۱۶] علاوه بر این، برای آن‌که بتوان عملکرد ماهواره را با توجه به نوع سرویس ارایه شده و نیاز به یکی از دو محموله مخابراتی، عملیاتی و پیاده سازی نمود، از یک ماتریس در بخش مخابراتی ماهواره استفاده خواهد شد که از آن می‌توان برای سویچ نمودن بین دو محموله شفاف یا بازمولد همزمان استفاده کرد[۲۶]. علاوه بر این، امروزه عملکرد سیستم ماهواره با توجه به نوع سرویس قابل ارایه شاخص بسیار مهمی در ارزیابی سیستم ماهواره خواهد بود[۲۰]. از چالش‌های اصلی شبکه‌های ارتباطی مبتنی بر ماهواره تامین پوشش کامل و دسترس‌پذیری و قابلیت اطمینان بالا در ارایه متنوع سرویس‌ها است. بنابراین لزوم توجه به این نوع معیار در ارزیابی نهایی سازندگان ماهواره می‌بایست مورد توجه جدی از دید اپراتورهای ماهواره قرار گیرد. در بخش توسعه زیر معیارها نیز در مقاله بالا در دو بخش تغییرات عمده نسبت به مدل ارزیابی مرجع[۱۶]صورت گرفته است. نخستین تغییر در بخش زیرمعیارها متعلق به معیار طراحی سیستم بوده که باید طیف وسیعی از زیر معیارها با توجه به اهمیت و میزان هزینه‌ای که در طراحی سیستم برای سازندگان ماهواره می‌بایست در نظر گرفته شود، تعیین خواهد شد. برخی از این نوع زیر معیارها شامل طراحی سیستم کنترل حرارتی، زیرسیستم فرمان‌های تله‌متری و تله‌کام هستندکه به منظور مدیریت در ارسال و کنترل سیستم ماهواره توسط تجهیزات و ایستگاه‌های زمینی موجود و همچنین طراحی سیستم موقعیت‌یابی ماهواره و در نهایت ناوبری خواهد بود[۱۷]. همچنین در بخش معیار هزینه باید هزینه تست و هزینه‌های ناشی از الزامات فضایی در صورت وجود و نیاز، در ارزیابی سازندگان ماهواره مورد توجه قرار گیرد[۲۳].



شکل ۳: معیارهای پیشنهادی به منظور ارزیابی سازندگان منظومه ماهواره‌ای

۴-۱-فرایند ایجاد ماتریس ارزیابی متقابل معیارها در مدل AHP

در این بخش، ابتدا لازم است تا فرایند ارزیابی معیارها به شکل دو به دو در قالب یک ماتریس متقارن صورت گیرد. برای این منظور از مدل ریاضی پیشنهاد شده توسط Chen و Hwang با عنوان TOPSIS استفاده شده است[۲۸-۲۷]. در این مدل با استفاده از الگوریتم ریاضی که بر حسب معیارهای تعیین شده در ماتریس ارزیابی متقابل وجود دارد، مجموع کمترین و بیشترین فاصله هندسی هرکدام از مقادیر امتیازدهی شده برای معیارها در مدل AHP، محاسبه شده و در نهایت بر حسب مقادیر به‌دست آمده، رتبه‌بندی هرکدام از سازندگان ماهواره بر حسب فاصله هندسی استخراج شده خواهد شد. بنابراین مطابق با الگوریتم ریاضی TOPSIS، لازم است تا ۵ مرحله زیر در نرم افزار MATLAB پیاده‌سازی شده و در نهایت مورد ارزیابی قرار گیرد. این ۵ مرحله به شرح زیر خواهد بود[۱۶]:

$$\mathbf{B}_{i\times i}=\begin{pmatrix} 1 & C_{2,1} & \cdot & C_{i,1} \\ C_{1,2} & 1 & \cdot & C_{i,2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ C_{1,i} & \cdot & \cdot & 1 \end{pmatrix}, \quad C_{1,1}=C_{2,2}=\cdot\ \cdot=C_{i,i}=1. \tag{۱}$$

که هرکدام از درایه‌های ماتریس بالا نسبت مقایسه هر کدام از معیارهای اصلی نسبت به سایر معیارهای اصلی بر حسب مدل AHP خواهد بود. تمام مقادیر بالا در ماتریس ارزیابی متقابل معیارها به نام ii قرار می‌گیرد. باید توجه داشت که درایه‌های قطر اصلی مقایسه هر معیار اصلی نسبت به خود همان معیار اصلی خواهد بود. بنابراین، مقدار درایه‌های قطر اصلی برابر با مقدار واحد خواهد بود.

۲- نرمالیزه نمودن هر کدام از ستون‌های ماتریس ارزیابی متقابل معیارها به حاصل جمع هر ستون مطابق با رابطه (۲).

۳- تعیین حاصل جمع هرکدام از ردیف‌های ماتریس نرمالیزه ارزیابی متقابل از مرحله ۲ و پیدا نمودن حاصل جمع آنها مطابق با رابطه (۳).

$$\mathbf{B}_{i\times i}=\begin{pmatrix} \frac{1}{P_1} & \frac{C_{2,1}}{P_2} & \cdot & \frac{C_{i,1}}{P_i} \\ \frac{C_{1,2}}{P_1} & \frac{1}{P_2} & \cdot & \frac{C_{i,2}}{P_i} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{C_{1,i}}{P_1} & \cdot & \cdot & \frac{1}{P_i} \end{pmatrix}, \quad P_j=\sum_{m=1}^{i} C_{j,m}, \quad j=[1,2,\ldots\ldots,i]. \tag{۲}$$

$$\mathbf{S}_{i\times 1}=\begin{pmatrix} S_{1\times 1}=\frac{1}{P_1}+\frac{C_{2,1}}{P_2}+\cdot\ \cdot+\frac{C_{i,1}}{P_i} \\ S_{2\times 1}=\frac{C_{1,2}}{P_1}+\frac{1}{P_2}+\cdot\ \cdot+\frac{C_{i,2}}{P_i} \\ \cdot \\ S_{i\times 1}=\frac{C_{1,i}}{P_1}+\frac{C_{2,i}}{P_2}+\cdot\ \cdot+\frac{1}{P_i} \end{pmatrix}_{i\times 1}, \quad S=S_{1\times 1}+S_{2\times 1}+\ldots\ldots+S_{i\times 1}. \tag{۳}$$

۴- تعیین حاصل جمع هرکدام از ردیف‌های ماتریس نرمالیزه ارزیابی متقابل از مرحله ۲ و جمع نمودن آنها با یکدیگر مطابق با رابطه (۴).

$$\mathbf{PW}_{1\times i}=\left[\frac{S_{1\times 1}}{S},\frac{S_{2\times 1}}{S},\ldots\ldots,\frac{S_{i\times 1}}{S}\right] \tag{۴}$$

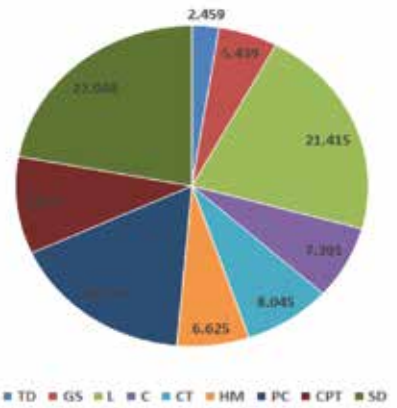
۵-تعیین سهم ضرایب الویت‌دهی حاصل شده از مرحله ۴ ($PW_{1\times i}$) بر حسب ضریب اختصاص داده شده به هرکدام از معیارهای فرعی موجود در صورت وجود بر حسب درصد ($(\beta_1,\cdot\ \cdot,\beta_i)$). به عنوان نمونه، تقسیم ضریب الویت‌دهی برای $\frac{S_{i\times 1}}{S}$ مطابق رابطه (۵) خواهد بود.

$$\frac{S_{i\times 1}}{S}=\left(\beta_1\times\frac{S_{i\times 1}}{S}\right)+\cdot\ \cdot+\left(\beta_j\times\frac{S_{i\times 1}}{S}\right), \quad 1=\beta_1+\cdot\ \cdot+\beta_j. \tag{۵}$$

برای انجام فرایند ارزیابی ابتدا ۹ معیار اصلی دو به دو در قالب یک ماتریس ارزیابی متقابل که در جدول (۶) ارایه شده، بر حسب شیوه نمره‌دهی در مدل AHP با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همان‌طورکه در جدول (۶) مشخص است، ارزیابی هر معیار نسبت به خود آن معیار نسبت واحدی دارد که رنگی شده است. در ردیف اول این جدول بر حسب اهمیت و الویت هرکدام از معیارها، نمره هر معیار نسبت به طراحی سیستم ارزیابی شده است. همان‌طورکه در این جدول مشخص است ارزیابی هرکدام از معیارهای اصلی نسبت به خود همان معیار برابر با یک بوده که در قطر اصلی جدول (۶) با رنگ مشخص شده است. نسبت نمره‌دهی در ردیف اول جدول(۶)، از رابطه (۶) به‌دست خواهد آمد. این رابطه و نسبت‌ها در تمام ردیف‌های جدول بر حسب الویت پیش‌بینی شده در فرایند طراحی و ساخت شبکه ماهواره‌ای در نظر گرفته شده است[۱۵].

$$\frac{CPT}{SD}=3,\ \frac{PC}{SD}=1,\ \frac{HM}{SD}=5,\ \frac{CT}{SD}=3,\ \frac{C}{SD}=3,\ \frac{L}{SD}=3,\ \frac{GS}{SD}=7,\ \frac{TD}{SD}=5. \tag{۶}$$

باید توجه داشت که برخی از درایه‌های بالا مثلثی و یا پایین مثلثی نسبت به قطر اصلی عکس مقادیر به‌دست آمده در ردیف‌های دیگر جدول خواهد بود. همچنین بر حسب الگوریتم ارایه شده در بخش ۳-۵-۱، ماتریس نرمالیزه شده ارزیابی متقابل در جدول (۷) ارایه شده است. سپس مقادیر موجود در هر ردیف ماتریس با یکدیگر جمع شده و در ستون آخر جدول (۷) در قالب پارامتر S ارایه شده است. در نهایت بر حسب مقادیر S وزن الویت‌دار هرکدام از ۹ معیار اصلی تعیین شده است. سپس سهم هرکدام از معیارهای فرعی در نظر گرفته شده مطابق با جدول (۸)، در شکل (۳) بر حسب وزن الویت‌دار هرکدام از معیارهای اصلی متناسب با درصد اهمیت پیش‌بینی شده برای هر زیر معیار تعیین شده است. در نهایت بر حسب وزن الویت‌دار تمام معیارهای اصلی برحسب درصد



شکل۴: درصد سهم هرکدام از معیارهای اصلی در مدل ارزیابی پیشنهادی

جدول ۶: ماتریس ارزیابی متقابل سازندگان منظومه ماهواره‌ای بر حسب مدل AHP

معیارها	SD	CPT	PC	HM	CT	C	L	GS	TD
SD	1	3	1	5	3	3	3	7	5
CPT	0.333	1	0.333	3	5	1	0.333	3	5
PC	1	3	1	5	3	3	0.333	5	7
HM	0.2	0.333	0.2	1	7	0.143	0.111	1	3
CT	0.333	0.2	0.333	0.143	1	5	0.333	5	3
C	0.333	1	0.333	7	0.2	1	0.143	0.2	5
L	0.333	3	3	9	3	7	1	5	3
GS	0.143	0.333	0.2	1	0.2	5	0.2	1	3
TD	0.2	0.2	0.143	0.333	0.333	0.2	0.333	0.333	1

جدول ۷: ماتریس نرمالیزه ارزیابی متقابل سازندگان منظومه ماهواره‌ای بر حسب مدل AHP

معیارها	SD	CPT	PC	HM	CT	C	L	GS	TD	S
SD	0.25806	0.24863	0.15285	0.15885	0.13196	0.11837	0.51849	0.25424	0.14285	1.9843
CPT	0.08593	0.08287	0.05090	0.09531	0.21994	0.03945	0.05755	0.10896	0.14285	0.8837
PC	0.25806	0.24863	0.15285	0.15885	0.13196	0.11837	0.05755	0.18160	0.20000	1.5079
HM	0.05161	0.02759	0.03057	0.03177	0.30792	0.00564	0.01918	0.03632	0.085714	0.5963
CT	0.08593	0.016575	0.05090	0.00454	0.04398	0.19729	0.057553	0.18160	0.085714	0.7241
C	0.08593	0.08287	0.05090	0.22239	0.00879	0.03945	0.024714	0.00726	0.142857	0.6651
L	0.08593	0.24863	0.45857	0.28593	0.13196	0.27621	0.17283	0.18160	0.085714	1.9273
GS	0.03690	0.02759	0.03057	0.03177	0.00879	0.19729	0.03456	0.03632	0.085714	0.4895
TD	0.05161	0.01657	0.02185	0.01057	0.01464	0.00789	0.05755	0.012094	0.028571	0.2213
وزن کل	0.22048	0.09819	0.16754	0.06625	0.08045	0.07391	0.21415	0.05439	0.02459	

جدول ۸: میزان وزن هرکدام از معیارهای فرعی در مدل AHP بر حسب مراجع جدول ۵

معیار	SD		CPT		PC		HM		SF		C	
مقادیر هر کدام از زیر معیارها با توجه به مراجع	0.22048		0.09819		0.16754		0.06625		0.08045		0.07391	
	S&M (11.8%)	0.0260	B (20%)	0.0196	Lower band (11.11%)	0.0186	CH (30%)	0.0198	Communication (61%)	0.0490	SP (15%)	0.0110
	G&N (13.5%)	0.0297	R (20%)	0.0196	Ku (44.44%)	0.0744	PH (70%)	0.0463	Earth observation (27%)	0.0217	SM (40%)	0.0295
	AOC (16.2%)	0.0357	H (60%)	0.0589	Ka (33.33%)	0.0558			Navigation/ GPS(5.7%)	0.0045	LC (10%)	0.0073
	Pr (11.8%)	0.0260			Upper band (11.11%)	0.0186			Technical develop-ment (5.7%)	0.0045	SI (30%)	0.0221
	P (14.1%)	0.0310							Other (0.6%)	0.0004	Other costs (5%)	0.0036
	TC (4.1%)	0.0090										
	C&DH (28.5%)	0.0628										

جدول ۹: مقایسه روش‌های ریاضی مقایسه ارزیابی سازندگان منظومه ماهواره‌ای بر حسب الویت‌دهی آنها

روش/معیارها	SD	PC	L	C	CT	CPT	TD	HM	GS
بیشترین بیشینه	-	-	-	-	-	-	-	-	۱
لکزیکوگرافی	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۲	۲	۱
رضایت‌بخش خاص	عدم انتخاب سازنده ماهوارهای که حداقل نمره پیش بینی شده را برای هرکدام از معیارها را اخذ نکند.								
رضایت‌بخش عطفی	انتخاب سازنده ماهوارهای که بیشترین نمره پیش‌بینی شده را برای هرکدام از معیارها را اخذ کند.								
مرجع [۱۶]	۱	۳	۲	۵	-	-	-	۶	۴
روش پیشنهادی	۱	۳	۲	۶	۵	۴	۹	۷	۸

در شکل (۴) ارایه شده است. همان‌طور که در شکل (۴) مشخص شده با توجه به الویت‌بندی‌های اولیه معیارهای اصلی، معیار طراحی سیستم ماهواره و طول عمر ماموریت ماهواره به ترتیب به‌طور تقریبی با ۲۲/۰۴ و ۲۱/۴۱ درصد دارای بیشترین اهمیت و معیار زمان تحویل‌دهی با ۲/۴۵ درصد کمترین اهمیت را در مدل ارزیابی پیشنهادی در این مقاله خواهد داشت. در حالی‌که در مرجع[۱۶]، بیشترین اهمیت به طراحی سیستم، طول عمر ماهواره به ترتیب ۲۸/۸ و ۲۷/۷ درصد و معیار سابقه طراحی و ساخت ماهواره و مدت زمان طراحی و ساخت ماهواره به ترتیب با ۴ و ۳/۳ درصد کمترین اهمیت را خواهند داشت. در جدول (۹) مقایسه‌ای بین تمام روش‌های ریاضی ارزیابی معیارهای موجود بین سازندگان ماهواره ارایه شده است. از نتایج به‌دست آمده برحسب الویت و نمره‌دهی معیارها و زیرمعیارها می‌توان نتیجه گرفت که اهمیت معیار کیفیت در طراحی و ساخت ماهواره نسبت به معیار زمان تحویل‌دهی در انتخاب سازنده ماهواره برای خریداری یا سرمایه‌گذاری در حوزه شبکه ماهواره‌ای اهمیت داشتن کیفیت در فرایند طراحی و ساخت ماهواره نسبت به طول زمان ساخت ماهواره با توجه به افزایش تعداد معیارها (اصلی و فرعی) در این مقاله و نزدیک شدن به مدل واقعی سنجش سازندگان ماهواره، از اهمیت بیشتری برخوردار است. همچنین با توجه به بازار رقابتی فشرده به منظور ارایه سرویس با کیفیت و قابلیت اطمینان مناسب در یک قرارداد درازمدت برای کاربران نهایی اهمیت بیشتری خواهد داشت.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله با توجه به ضرورت ارایه مدل ارزیابی و انتخاب بین سازندگان ماهواره‌های مخابراتی که دارای کیفیت بهتر در فرایند طراحی و ساخت باشند، دو روش ارزیابی بررسی گردید. در روش نخست ارزیابی معیارها بر حسب یک معیار مشخص انجام می‌شد که عیب آن نبودن ارزیابی منصفانه یک معیار نسبت به سایر معیارها بود. در روش دوم که روشی بهینه‌تر و کامل‌تر نسبت به روش نخست می‌باشد، مقایسه معیارها در قالب یک ماتریس ریاضی و به شکل دو به دو بر حسب مدل نمره‌دهی AHP انجام گرفت. نتایج به‌دست آمده، در روش ارزیابی متقابل نشان می‌دهد که لزوم برتری یک معیار نسبت به معیارهای دیگر دلیل برتری آن معیار نبوده و در نمره‌دهی پیش‌بینی شده در روش بالا، معیار طراحی سیستم ماهواره و بیشتر بودن زمان طول عمر ماهواره نسبت به زمان تحویل‌دهی چنین نوع محموله‌های مخابراتی اهمیت بیشتری خواهد داشت. این امر می‌تواند برای ارایه سرویس‌های مخابراتی در ارتفاعات مداری بالا و همچنین تضمین ارایه خدمات به کاربران نهایی در دراز مدت مورد توجه اپراتورهای ماهواره‌ای قرار گیرد.

واژگان کلمات انگلیسی بکار رفته در مقاله

معادل فارسی	لغات انگلیسی
سرویس‌های برخط	Online
خودروی هوشمند	Smart car
شبکه‌های ترکیبی ماهواره با بستر زمینی	Satellite-Terrestrial Integrated Network (STIN)
انتقال داده	Traffic offloading
مدل غیرجبران‌کننده تصمیم‌گیری	Non-compensatory decision making model
مدل جبرانی تصمیم‌گیری	Compensatory decision making model
بیشترین بیشینه	MAXI MAX
لکزیکوگرافی	Lexicography
طراحی سیستم	System design (SD)
انواع محموله مخابراتی	Communication payload types (CPT)
شفاف یا لوله خم‌شده	Bent-pipe
بازمولد	Regenerative
ظرفیت محموله	Payload capacity (PC)
سوابق سازنده	Heritage of manufacture (HM)
عملکرد ماهواره	Satellite function (SF)
ناوبری و سیستم موقعیت یابی جهانی	Navigation and Global Positioning System (GPS)
توسعه فنی	Technical development
هزینه	Cost (C)
طرح ماهواره	Satellite plan(SP)
بیمه ماهواره	Satellite insurance (SI)
طول عمر	Life time (L)
تجهیزات زمینی	Ground segment (GS)
مدت زمان ساخت ماهواره	Time to deliver (TD)
سازمان بین المللی مخابرات	International Telecommunication Union (ITU)
رله	Relay
کمترین و بیشترین فاصله هندسی	Shortest and longest geometric

اختصار کلمات انگلیسی

معادل انگلیسی	مخفف
Low earth orbit	LEO
Multiple-criteria decision-making	MCDM
Analytic Hierarchy Process	AHP
Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution	TOPSIS

مراجع

[1] P. Hajipour, A. Shahzadi, S. Ghazi-Maghrebi, "Improved performance for a heterogeneous satellite-cooperative network with best relay node selection", China communications, vol. 16, no. 5, pp.93-105, June 2019.

[2] Y.Haipeng, W.XiaodongL.Zhou and L.Yunjie,"The Space-Terrestrial Integrated Network (STIN): An Overview", IEEE CommunicationsMagazine,(DOI:10.1109/MCOM.2018.1700038),pp.1-9, 2018.

[3] ESOA 5G White Paper. Satellite communications services: an integral part of the 5G ecosystem. ESOA (Available from:https://esoa.net/cmsdata/positions/1693/20ESOA/205G/2016pp/20Booklet/20Amends/20SCREEN/20Final/201.pdf. [Accessed on 2018].

[4] M.Jia, X.Gu, Q.Guo, W.Xiang, N.Zhang,"Broadband hybrid satellite-terrestrial communication systems based on cognitive radio toward 5G", IEEE Wireless Communications. vol.23, no.6, pp.96–106, 2016.

[5] J.Zhang, B.Evans, MA.Imran, X.Zhang, W.Wang,"Green Hybrid Satellite Terrestrial Networks: Fundamental Trade-Off Analysis", Proceedings of IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC), pp.15, May 2016.

[6] F. Tariq, MR. A. Khandaker,K.Wong, M. Imran, M.Bennis and M. Debbah, " A Speculative Study on 6G", IEEE magazine, arXiv:1902.06700v2 [cs.NI] , 2019.

[۷] پدرام حاجی پور، رقیه دوست و مریم زیرجد «یکپارچگی و ترکیب شبکه‌های ماهواره با شبکه‌های زمینی موجود و پروتکل‌های ادوات متحرک» مستخرج از پروژه:امکان سنجی بهره‌برداری از ماهواره ملی مخابراتی در باند Ka و ارایه سرویس IP بر بستر ماهواره، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تعداد صفحات ۱ الی ۴۵، شهریور ماه ۱۳۹۸.

[8] "Viasat Annual Report 2019",Available at: http://investors.viasat.com/static-files/743e5c27-c611-4a1c-ab86-63b66b82451b.

[9] "Intelsat Annual Report on Form 10-K for the year ended December 31, 2019", Available at; https://investors.intelsat.com/static-files/c1c4e846-eadf-4967-bfa0-f5c8d2860be2

[10] "SES Annual Report 2019",Available at: https://www.ses.com/sites/default/files/2020-04/SES_Annual_Report_2019_HighRes_1.pdf.

[11] "Eutelsat Full Year 2018-19 Results" ,Available at:https://www.eutelsat.com/files/PDF/investors/2018-19/ETL-Results-Presentation-FY2018-19.pdf.

[۱۲]پدرام حاجی پور،«ارایه مدل ارزیابی ارایه دهندگان ارتباطات ماهواره‌ای از دید اپراتورها و سازندگان ماهواره» مستخرج از پروژه:امکان سنجی بهره‌برداری از ماهواره ملی مخابراتی در باند Ka و ارایه سرویس IP بر بستر ماهواره، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تعداد صفحات ۱ الی ۳۲،آذر ماه ۱۳۹۸.

[۱۳] سازمان تنظیم مقررات، معاون نظرات و اعمال مقررات (دفتر نظارت بر سرویس‌های فناوری اطلاعات)، «کتابچه راهنمای الگوی جامع ارزیابی، رتبه‌بندی و انتخاب اپراتورهای برتر سرویس‌های فنآوری اطلاعات»،تعداد صفحات ۱الی۵۳، ۱۳۹۵.

[14] Ng, C.Y. and Chuah, K.B", Evaluation of Design Alternatives 'Environmental Performance using AHP and ER Approaches", IEEE system journal,vol.8, no.4, pp.1185-1192, 2013.

[15] "MADM solutions",Available at: https://sanaye20.ir .

[16] A. Kahriman, M. Öztokatlı, G. Sena Daş," Selection of a Communication Satellite Manufacturer using MCDM methods", 7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), pp.347-351, 2015.

[17] E. Mahr, A.Tu,A.Gupta," Development of the Small Satellite Cost Model 2019 (SSCM19)", IEEE Aerospace Conference,pp.1-12,March 2020.

[18] O.Kodheli , E.Lagunas , N.Maturo and et al,"Satellite Communications in the New Space Era: A Survey and Future Challenges", IEEE Communications Surveys & Tutorials,vol.21,no.1,October 2020.

[19] Future trends for the Space market, Available at: https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/space/news/future-trends-space-market,September 2018.

[20] Available at: https://news.cgtn.com/news/2020-11-12/6G-A-case-for-why-China-will-become-more-innovative-VkZEUtnFgA/index.html.

[21] Available at: https://www.mobileworldlive.com/featured-content/home-banner/china-puts-6g-test-satellite-into-orbit

[22] Who owns our orbit: Just how many satellites are there in space?,Available at https://www.weforum.org/agenda/2020/10/visualizing-easrth-satellites-sapce-spacex,2020.

[23] X.Wang, S.Zhang," Cost Analysis for Mass Customized Production of Satellites Based on Modularity",IEEE Acess,pp.13754-13760,January 2021.

[24] P.Manikowski and M. A Weiss ,» The Satellite Insurance Market and Underwriting Cycles», The Geneva Risk and Insurance Review,vol.38,pp.148-182,2013.

[25] T.L. Saaty, " The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, New York, 1980.

[26] M.Witting," Satellite switchboard in the sky: past, present and future", e & i Elektrotechnik und Informationstechnik.vol.131.no.6,pp.130-149,Septembr 2014.

[27] S.J.Chen, C.L.Hwang,:Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications", 1992.

[28] S.Opricovic, G. H. Tzeng, "Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS", European Journal of Operational Research, vol.156,no.2, pp.445-455, 2004.

***