JSST
Journal of Space Science and Technology

P-ISSN: 2008-4560
E-ISSN: 2423-4516

Journal of Space Science and Technology

Vol. 19, No. 1, pp. 52-67, 2026
https://doi.org/10.22034/jsst.2025.1596
Journal Homepage: https://www.jsstpub.com

Original Research Paper

Designing and Implementing a Space Object Monitoring System With Strategies Approach and Needs of Iran: A Review of the Structures of Leading Countries and Providing a Local Solution

Saber Karami[1*], Saeed Farzaneh[2], Hossein Safari [3], Masoud Khoshsima[4], and Hadi Jalili[5]

1,3. Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2. School of Surveying and Geospatial Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
4,5. Iranian Space Research Center, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received 13 September 2025
Revised 13 October 2025
Accepted 02 November 2025
Available Online 03 November 2025

Keywords:

Space surveillance systems
Architecture
Space-based technologies
Space object tracking
Space traffic management

ABSTRACT

This article provides an in- depth analysis of the space surveillance and monitoring systems employed by leading countries, focusing on their design principles, technologies, and operational strategies. It begins with a comprehensive review of the major space surveillance capabilities of the United States, China, Russia, and the European Union, highlighting the unique features and approaches each adopts. The United States operates a vast and sophisticated network that integrates multiband phased array radars with advanced optical telescopes. This combined system delivers comprehensive global coverage, enabling effective tracking and monitoring of objects in space across various orbits. China, meanwhile, has made significant strides by concentrating on large optical telescopes and establishing regional optical networks. This approach has particularly enhanced China's ability to monitor geostationary (GEO) orbits, which are critical for communication and surveillance satellites. Russia continues to rely on its extensive legacy of Soviet-era radar infrastructure, which it supplements with modern technological upgrades to maintain effective space situational awareness. The European Union pursues a different strategy, focusing on scientific research and commercial applications. By integrating optical and radar sensors within a multinational network, the EU seeks to balance diverse objectives through collaboration among member states. Drawing on these international examples, the article proposes an indigenous space surveillance system tailored to Iran's needs. This proposed system features a combination of ground-based and space- based sensors, including phased array radars and telescopes equipped with adaptive optics for improved accuracy. Additionally, it incorporates advanced data processing infrastructure to manage and analyze the collected information efficiently.

* Corresponding Author's E-mail: saber.karami@znu.ac.ir

How to Cite this Article:
S. Karami, S. Farzaneh, H. Safari, M. Khoshsima, and H. Jalili, " Designing and implementing a space object monitoring system with strategies approach and needs of Iran: A review of the structures of leading countries and providing a local solution," *Journal of Space Science and Technology*, Vol. 19, No. 1, pp. 52-67, 2026, (in Persian), https://doi.org/10.22034/jsst.2025.1596.

COPYRIGHTS
© 2026 by the authors. Published by ARI 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
علوم و فناوری فضایی

شاپای چاپی: ۴۵۶۰-۲۰۰۸
شاپای الکترونیکی: ۴۵۱۶-۲۴۲۳

علوم و فناوری فضایی

سال ۱۴۰۵، دوره ۱۹، شماره ۱، صفحه ۵۲-۶۷
https://doi.org/10.22034/jsst.2025.1596
Journal Homepage: https://www.jsstpub.com

مقاله پژوهشی

طراحی و پیاده‌سازی سامانه پایش اجرام فضایی با رویکرد راهبردی و نیاز کشور ایران: مروری بر معماری کشورهای پیشرو و ارائه یک راه‌کار بومی

صابر کرمی[۱*]، سعید فرزانه[۲]، حسین صفری[۳]، مسعود خوش‌سیما[۴]، و هادی جلیلی[۵]

۱- دانشجوی دکترای، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲- دانشیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳- استاد، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۴- دانشیار، پژوهشگاه فضایی ایران، تهران، ایران
۵- استادیار، پژوهشگاه فضایی ایران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۲۲ شهریور ۱۴۰۴
بازنگری ۲۱ مهر ۱۴۰۴
پذیرش ۱۱ آبان ۱۴۰۴
اولین انتشار ۱۲ آبان ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:

سامانه‌های نظارت فضا
معماری
فناوری‌های فضا پایه
پایش اجرام فضا
مدیریت ترافیک فضا

چکیده

این مقاله با تمرکز بر سامانه‌های نظارت فضایی کشورهای پیشرو، به تحلیل اصول طراحی، فناوری‌های به‌کاررفته، و راهبردهای عملیاتی آن‌ها می‌پردازد. ابتدا، سامانه‌های کلیدی نظارت فضایی در ایالات متحده، چین، روسیه و اتحادیه اروپا بررسی شده و مشخصات آن‌ها تحلیل می‌شود. به‌طوری‌که، ایالات متحده از شبکه‌ای گسترده از رادارهای آرایه فازی چندباندی و تلسکوپ‌های نوری پیشرفته در قالب یک سیستم یکپارچه استفاده می‌کند که پوشش جهانی جامعی را فراهم می‌آورد. چین با تمرکز بر تلسکوپ‌های نوری بزرگ و شبکه‌های اپتیکی منطقه‌ای، توانسته در نظارت بر مدارهای GEO به پیشرفت قابل‌توجهی دست یابد، درحالی‌که روسیه به بهره‌گیری از زیرساخت‌های راداری قدیمی شوروی همراه با فناوری‌های مدرن پرداخته است. اتحادیه اروپا نیز با ترکیب سامانه‌های نوری و راداری در قالب یک شبکه چندملیتی، بر اهداف علمی و تجاری متمرکز است. بر اساس این تحلیل‌ها، سامانه‌ای بومی برای ایران پیشنهاد شده است که شامل سامانه‌های زمینی و فضایی با معماری یکپارچه، ازجمله رادارهای آرایه فازی و تلسکوپ‌های مجهز به اپتیک تطبیقی، و همچنین زیرساخت پردازش داده پیشرفته است. این سامانه با بهره‌گیری از فناوری‌های بومی، قابلیت گسترش و همکاری بین‌المللی طراحی شده و قادر است ایران را به‌عنوان یک بازیگر مسئول در جامعه فضایی بین‌المللی مطرح سازد.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: saber.karami@znu.ac.ir

How to Cite this Article:
S. Karami, S. Farzaneh, H. Safari, M. Khoshsima, and H. Jalili, " Designing and implementing a space object monitoring system with strategies approach and needs of Iran: A review of the structures of leading countries and providing a local solution," *Journal of Space Science and Technology*, Vol. 19, No. 1, pp. 52-67, 2026, (in Persian), https://doi.org/10.22034/jsst.2025.1596.

COPYRIGHTS
© 2026 by the authors. Published by ARI 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)

علائم و اختصارات

آگاهی موقعیت فضایی	Space Situational Awareness (SSA)
مدار زمین ژئوسنکرون	Geosynchronous Earth Orbit (GEO)
شبکه نظارت فضایی	Space Surveillance Network (SSN)
برنامه آگاهی موقعیت فضایی ژئوسنکرون	Geosynchronous Space Situational Awareness Program (GSSAP)
مدار زمین پایین	Low Earth Orbit (LEO)
مدار زمین میانه	Medium Earth Orbit (MEO)

مقدمه

از آنجایی‌که استفاده از فضا با کاربردهای مختلف نظامی و غیرنظامی در دنیا پیوسته در حال توسعه و گسترش است، لذا بهره‌برداری از سامانه‌های نظارت و مدیریت ترافیک فضایی امری ضروری و اجتناب ناپذیر می‌باشد. نظارت فضایی که با نام آگاهی موقعیت فضایی (SSA) نیز شناخته می‌شود، شامل ردیابی و تجزیه و تحلیل اجرام مصنوعی در مدار زمین از جمله ماهواره‌های فعال، فضاپیماهای از بین رفته و زباله‌های فضایی است. این سیستم‌ها برای اطمینان از ایمنی و پایداری عملیات فضایی، جلوگیری از برخورد و حفاظت از دارایی‌های ارزشمند فضایی بسیار مهم هستند. با افزایش تعداد ماهواره‌هایی که هر ساله پرتاب می‌شوند و افزایش سریع زباله‌های فضایی، نیاز به سامانه‌های نظارت فضایی قوی و کارآمد هرگز بیشتر از این نبوده است [۱].

در سطح جهانی، چندین کشور سامانه‌های نظارت فضایی پیچیده‌ای را برای حفظ آگاهی موقعیتی و مدیریت ترافیک فضایی توسعه داده‌اند. ایالات متحده، روسیه، چین و آژانس فضایی اروپا از جمله نهادهای پیشرو هستند که قابلیت‌های جامع SSA را ایجاد نموده‌اند و فناوری‌های مختلفی مانند رادارهای زمینی، تلسکوپ‌های نوری و سامانه‌های فضایی را ادغام کرده‌اند. این سیستم‌ها برای شناسایی، ردیابی و پیش‌بینی مسیر اجرام فضایی طراحی شده‌اند و داده‌های حیاتی را برای جلوگیری از برخورد و برنامه‌ریزی عملیات فضایی ارائه می‌دهند. با این‌حال، علی‌رغم پیشرفت‌های قابل توجه در فناوری، سامانه‌های مانیتورینگ فضای موجود با چالش‌های متعددی از جمله پوشش محدود، محدودیت‌های اشتراک داده و افزایش پیچیدگی مدیریت ترافیک فضا مواجه هستند [۲،۳].

با توجه به اهمیت راهبردی توسعه قابلیت‌های نظارت فضایی برای کشور به‌عنوان یک قدرت نوظهور فضایی، وجود یک سامانه نظارت فضایی متناسب با نیازها و چالش‌ها امری حیاتی است. در حال حاضر، زیرساخت جامع SSA در کشور وجود ندارد که به دنبال آن تهدیداتی برای دارایی‌های فضایی کشور به‌همراه دارد لذا ظرفیت موجود در کشور را برای مشارکت در تلاش‌های بین‌المللی امنیت فضایی محدود می‌کند.

هدف این مقاله بررسی دقیق سامانه‌های نظارت فضایی مختلف در سراسر جهان، به‌همراه تحلیل طراحی و استراتژی‌های عملیاتی و پیشرفت‌های فناوری آن‌ها است. با بررسی نقاط قوت و ضعف این سیستم‌ها، این پژوهش به دنبال شناسایی بهترین شیوه‌ها و تجربه‌ها است به‌طوری‌که بر اساس آن یک سامانه پایش فضایی برای ایران پیشنهاد گردد. علاوه بر این، یک سامانه پایش فضایی متناسب با نیازهای خاص ایران، با توجه به قابلیت‌های فعلی، اهداف راهبردی و زمینه منطقه‌ای آن به‌صورت مفهومی طراحی می‌شود.

پیشینه تاریخی نظارت فضایی

مفهوم نظارت فضایی یا آگاهی موقعیت فضایی(SSA)، از آغاز عصر فضا به‌طور قابل توجهی تکامل یافته است. در ابتدا، نظارت فضایی عمدتاً بر ردیابی ماهواره‌های فعال و شناسایی پرتاب‌های احتمالی موشک در دوران جنگ سرد متمرکز بود. در طول دهه‌ها، با افزایش تعداد اجرام در مدار و گسترش استفاده از فضا، دامنه SSA گسترش یافت که شامل ردیابی انواع اجرام فضایی، از ماهواره‌های فعال گرفته تا فضاپیماهای از بین رفته و قطعات زباله شد. امروزه SSA طیف گسترده‌ای از فعالیت‌ها را شامل می‌شود، از جمله جلوگیری از برخورد، مدیریت ترافیک فضایی، نظارت بر اقلیم فضا، و تضمین پایداری طولانی‌مدت محیط فضا. توسعه سامانه‌های مانیتورینگ فضایی به‌طور جدی در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ آغاز شد و ایالات متحده و اتحاد جماهیر شوروی پیشتاز این راه بودند. ایالات متحده در سال ۱۹۵۷ شبکه نظارت فضایی (SSN) را تأسیس کرد که در ابتدا بر روی شناسایی پرتاب موشک‌های بالستیک و ردیابی ماهواره‌ها متمرکز بود. SSN از ترکیبی از رادارهای زمینی و تلسکوپ‌های نوری برای نظارت بر فعالیت‌های فضایی استفاده کرد. به‌طور مشابه، اتحاد جماهیر شوروی شبکه‌ای از رادارها و تلسکوپ‌های خود را برای ردیابی اجرام فضایی و پشتیبانی از عملیات فضایی خود توسعه داد. این سامانه‌های اولیه پایه و اساس قابلیت‌های پیچیده‌تر نظارت بر فضایی را که امروز می‌بینیم، گذاشتند [۴-۶].

در دهه‌های اخیر، نظارت فضا به‌دلیل رشد تصاعدی تعداد ماهواره‌ها و زباله‌های فضایی اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده است. تکثیر ماهواره‌های کوچک و ظهور منظومه‌های ماهواره‌ای بزرگ، مانند Starlink و OneWeb شرکت SpaceX، به‌طور قابل توجهی تجمع در مدار پایین زمین (LEO) را افزایش داده است. طبق گزارش آژانس فضایی اروپا[1] (ESA)، در حال حاضر بیش از ۳۶۰۰۰ قطعه زباله قابل ردیابی بزرگتر از ۱۰ سانتی‌متر در مدار، همراه با میلیون‌ها قطعه کوچکتر وجود دارد که شناسایی و ردیابی آن‌ها دشوار است.[۷] این تجمع خطرات قابل توجهی را هم برای ماهواره‌های فعال و هم برای پروازهای فضایی انسان به‌همراه دارد به‌طوری‌که بر ضرورت سامانه‌های نظارت فضایی پیشرفته که قادر به ارائه داده‌های دقیق و به موقع در مورد مکان و حرکت اجرام فضایی هستند، تأکید می‌کند. پیشرفت‌های فناوری نقش بسزایی در افزایش قابلیت‌های سامانه‌های نظارت فضایی ایفا کرده است. ترکیب یادگیری ماشین و هوش مصنوعی[2] (AI) در سامانه‌های SSA، بررسی داده‌ها و فرآیندهای تصمیم‌گیری پیچیده‌تری را امکان‌پذیر کرده است. به‌عنوان مثال، الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی مسیر اجرام فضایی و ارزیابی خطر برخورد استفاده می‌شوند که امکان مانورهای اجتناب از برخورد دقیق‌تر و به موقع‌تر را فراهم می‌کند. علاوه بر این، توسعه رادارهای با دیافراگم بزرگ و اپتیک‌های تطبیقی به‌طور قابل توجهی وضوح و دقت ردیابی اجرام فضایی را بهبود بخشیده است و امکان تشخیص زباله‌های کوچکتر و کاهش عدم قطعیت در تشخیص موقعیت اجرام را فراهم کرده است. سامانه‌های فضا پایه ماهواره نیز جزء مهمی از سامانه‌های مدرن SSA شده‌اند. این حسگرها نقطه برتری منحصر به‌فردی را برای نظارت بر فعالیت‌های فضایی فراهم می‌کنند و امکان مشاهده مداوم اجرام فضایی را بدون محدودیت‌های سامانه‌های زمینی، مانند شرایط آب و هوایی و چرخش زمین، فراهم می‌کنند. به‌عنوان مثال، ایالات متحده برنامه آگاهی موقعیت فضایی ژئوسنکرون (GSSAP) را اجرا می‌کند که شامل مجموعه‌ای از ماهواره‌ها در مدار زمین ثابت است که سایر ماهواره‌ها و زباله‌های موجود در همان مدار را رصد می کند. به‌طور مشابه، کشورهای دیگر در حال بررسی استفاده از سامانه‌های فضایی برای تکمیل قابلیت‌های SSA زمین پایه و ارائه ظرفیت جامع‌تری از اقلیم فضا هستند.

بررسی سامانه‌های نظارت فضایی کشورهای پیشرو

معماری فنی سامانه‌های نظارت و پایش فضایی، که به‌عنوان سامانه آگاهی موقعیت فضایی (SSA) نیز شناخته می‌شود، در کشورها و سازمان‌های مختلف به‌طور قابل‌توجهی متفاوت است. این سامانه‌ها چندین فناوری و اجزای زیرساختی را برای شناسایی، ردیابی و بررسی اجرام فضایی مانند ماهواره‌ها، زباله‌های فضایی و دیگر اجرام مصنوعی در مدار به‌صورت یکپارچه بهره‌برداری می‌کنند. در این بخش یک نمای کلی از معماری‌های فنی سامانه‌های اصلی نظارت فضایی جهانی را با تمرکز بر ویژگی‌های منحصر به‌فرد، فناوری‌ها و استراتژی های عملیاتی ارائه می‌شود. چندین کشور و سازمان مهم بین‌المللی این حوزه، قابلیت‌های جامع SSA را برای رسیدگی به چالش‌های رو به رشد نظارت فضا توسعه داده‌اند [۸–۱۳].

جدول (۱) مقایسه کشورهای پیشرو در زمینه نظارت فضایی را نشان می‌دهد. این جدول نشان‌دهنده راهبردهای متفاوت هر کشور بر اساس موقعیت جغرافیایی، اهداف استراتژیک، توانایی‌های اقتصادی، و تخصص‌های تاریخی آن‌ها است. بر اساس این جدول، ایالات متحده آمریکا تمرکز اصلی خود را بر سامانه‌های راداری قرار داده و با ایجاد شبکه‌ای جهانی و یکپارچه، پوشش کاملی از فعالیت‌های فضایی فراهم نموده است. همچنین، این کشور از برتری فناوری در تمامی حوزه‌ها برخوردار بوده و توانایی تشخیص سریع اجسام کوچک فضایی را داراست. با این‌حال، هزینه‌های بالای نگهداری این سیستم‌ها و پیچیدگی‌های ناشی از هماهنگی بین بازیگران مختلف، چالش‌هایی متعددی را پیش روی آن‌ها قرار داده است. چین با تمرکز بر سامانه‌های اپتیکی، به‌دلیل موقعیت جغرافیایی مطلوب و کاهش هزینه‌های زیرساختی، به سرعت در حال گسترش توانایی‌های منطقه‌ای و جهانی خود است. برتری این کشور در فناوری اپتیکی و توان بالای اقتصادی آن، به این کشور امکان داده تا در ردیابی اجسام در مدارهای خاص پیشرفت کند. با این حال، وابستگی به شرایط جوی و چالش‌های مرتبط با یکپارچگی سیستم‌ها همچنان موانعی برای توسعه پایدار ایجاد نموده است. روسیه با بهره‌گیری از زیرساخت‌های راداری قدیمی شوروی، تمرکز خود را بر نیمکره شمالی و نظارت استراتژیک فضا قرار داده است. تخصص تاریخی این کشور در فناوری راداری آن را به گزینه‌ای قدرتمند در این حوزه تبدیل کرده است، با این‌حال، نیاز به مدرن‌سازی تجهیزات و شکاف‌های موجود در پوشش شبکه، از جمله محدودیت‌های روسیه در زمینه نظارت فضایی می‌باشد. علاوه بر این، محدودیت منابع مالی و شرایط جغرافیایی خاص نیز از چالش‌های دیگر این کشور محسوب می‌شود. اتحادیه اروپا رویکردی

1. European Space Agency

2. Artificial Intelligence

ترکیبی از فناوری‌های راداری و نوری را انتخاب کرده و با تکیه بر همکاری میان کشورهای عضو، تمرکز خود را بر اهداف علمی و تجاری قرار داده است. توزیع جغرافیایی متنوع در سراسر کشورهای عضو امکان انعطاف‌پذیری در شرایط مختلف جوی را فراهم کرده است، اما هماهنگی پیچیده میان کشورهای مختلف و محدودیت در یکپارچگی فرماندهی، کارایی این شبکه را تحت تأثیر قرار داده است. در مجموع، هر کشور با تکیه بر مزیت‌های تاریخی، جغرافیایی، و فناورانه خود، تلاش می‌کند تا در زمینه نظارت فضایی به اهداف خود دست یابد، اما چالش‌های مرتبط با منابع، هماهنگی، و توسعه زیرساخت‌ها از موانع اصلی پیشرفت این سیستم‌ها به‌شمار می‌رود [۱۴-۱۷].

همچنین جدول (۲) تحلیل استراتژیک و دلایل ارجحیت فناوری در کشورهای پیشرو را بیان می‌کند. این جدول نشان می‌دهد که انتخاب نوع فناوری به عوامل متعددی از جمله اهداف استراتژیک، موقعیت جغرافیایی، نیازهای نظامی و غیرنظامی، و منابع اقتصادی بستگی دارد. ایالات متحده تمرکز اصلی خود را بر استفاده از سامانه‌های راداری پیشرفته نظیر آرایه فازی و شبکه جهانی راداری قرار داده است. این کشور با بهره‌گیری از سامانه‌های ثانویه مانند شبکه‌های اپتیکی گسترده، بردهای لیزری و نظارت رادیویی، توانسته پوشش جهانی جامعی ایجاد کند که به‌طور خاص بر ردیابی مدارهای LEO وGEO ، شناسایی زباله‌های کوچک و برنامه‌های نظامی و غیرنظامی تاکید دارد. چین با تمرکز اصلی بر شبکه‌های اپتیکی و تلسکوپ‌های بزرگ، سعی در ایجاد پوشش قوی منطقه‌ای و نظارت بر ماهواره‌های GEO دارد. در عین حال، با توسعه سامانه‌های راداری و برد لیزری محدود، تلاش می‌کند تا به یک قابلیت جامع در نظارت فضایی دست یابد. این کشور با تمرکز بر نظارت بر دارایی‌های فضایی نظامی و ردیابی ماهواره‌ای، برنامه‌های بلندمدت خود را با بهره‌برداری از زیرساخت‌های جغرافیایی مطلوب تقویت می‌کند. روسیه با تکیه بر شبکه‌های راداری قدیمی شوروی و سامانه‌های مدرن مانند Voronezh، تمرکز اصلی خود را بر ردیابی مدارهای LEO و تشخیص تهدیدات نظامی گذاشته است. در عین حال، با استفاده محدود از تلسکوپ‌های نوری و قابلیت‌های لیزری، به نوسازی سامانه‌های خود و بهبود پوشش نیمکره شمالی پرداخته است. این رویکرد، با وجود ضعف در به‌روزرسانی فناوری‌های جدید، همچنان قدرت روسیه را در نظارت فضایی حفظ کرده است.

اتحادیه اروپا رویکرد متعادل‌تری دارد و از ترکیب سامانه‌های راداری و اپتیکی با رویکرد شبکه‌ای تعاونی بهره می‌برد. کشورهای عضو این اتحادیه منابع خود را به اشتراک گذاشته و با استفاده از بردهای لیزری و نظارت رادیویی به حفاظت از فضای تجاری و توسعه برنامه‌های غیرنظامی و علمی می‌پردازند. تاکید بر تحقیقات علمی و همکاری بین‌المللی، این اتحادیه را در مسیر بهره‌برداری از قابلیت‌های متنوع فناوری فضایی قرار داده است. بر اساس این جدول می‌توان نتیجه گرفت که هر کشور یا منطقه، با توجه به نیازها و منابع خود، استراتژی منحصر به‌فردی برای نظارت فضایی انتخاب کرده است که انعکاس دهنده ترکیبی از الزامات استراتژیک و محدودیت‌های موجود است.

نهایتا جدول (۳) بررسی دقیق پیکره‌بندی‌های نظارت فضایی کشورهای پیشرو را از لحاظ مفاهیم عملیاتی و تاثیر استراتژیک بیان می‌کند. در این جدول، هر کشور بسته به موقعیت استراتژیک و نیازهای عملیاتی خود، رویکردی متمایز و ویژه اتخاذ کرده است. ایالات متحده با بهره‌گیری از شبکه‌های راداری توزیع‌شده مبتنی بر فرکانس‌های چندگانه و فناوری‌های پیشرفته مانند آرایه‌های فازی و مراکز فرماندهی یکپارچه، توانسته قابلیت ردیابی لحظه‌ای و پوشش مستمر مدارهایLEO ، MEO و GEO را فراهم کند. این ویژگی‌ها باعث تسلط این کشور بر فضای جهانی و مدیریت پیشرفته ترافیک فضایی شده است. همچنین، شبکه جهانی نوری با استفاده از تلسکوپ‌های پیشرفته و الگوریتم‌های خودکار، توانایی پوشش جامع مداری و توصیف دقیق اجرام فضایی را ارائه می‌دهد. ساختار فرماندهی یکپارچه که از ترکیب داده‌های تجاری و هوش مصنوعی بهره می‌برد، امکان واکنش و تصمیم‌گیری موثر و سریع را فراهم کرده است و رهبری ایالات متحده در آگاهی فضایی و مدیریت بحران را تقویت می‌کند. چین با تمرکز بر پوشش منطقه‌ای متراکم، از تاسیسات راداری قدرتمند و تلسکوپ‌های اپتیکی بزرگ استفاده می‌کند تا نظارت قوی در فضای منطقه‌ای ایجاد کند. این کشور با کنترل متمرکز و ساختار فرماندهی واحد، انعطاف‌پذیری محدود اما کارآمدی در تخصیص منابع و کنترل سرزمینی دارد. تمرکز فناوری بر توسعه سامانه‌های اپتیکی پیشرفته و پردازش مدرن باعث افزایش توانایی عملیاتی مستقل و کاهش وابستگی به فناوری‌های خارجی شده است. این رویکردها به افزایش استقلال فضایی چین و تقویت نفوذ جهانی آن کمک کرده است.

جدول ۱- مقایسه کشورهای پیشرو در زمینه پایش و نظارت فضایی.

Table 1. Comparison of leading countries in the field of space monitoring and surveillance.

Country	Advantages	Technology Level	Operational Focus	System Integration	Geographical Distribution	Core Technology Focus	Challenges
United States	High costs, complex coordination	Global coverage, rapid detection of small objects	Superiority across all domains	Highly integrated and automated	Full global coverage	Radar systems	High costs, complex coordination
China	Lower cost, favorable geography	Advanced optical, radar developing	Regional dominance, global expansion efforts	Centralized, under development	Concentrated in China with regional expansion	Optical systems	Weather dependency, integration challenges
Russia	Polar coverage, reusable old infrastructure	Strong radar, needs updates	Strategic defense	Partially integrated, modernization	Northern Hemisphere focus	Radar systems	Coverage gaps, limited resources
European Union	Strong cooperation, geographic diversity	Modern but centralized	Scientific & commercial priority	Networked but independent	Distributed across member states	Radar + Optical	Political coordination, resource sharing

جدول ۲- تحلیل استراتژیک و دلایل ارجحیت فناوری در کشورهای پیشرو فضایی.

Table 2. Strategic analysis and reasons for technological superiority in leading space countries.

Country/Region	Strategic Focus	Secondary Systems	Primary Systems
United States	Comprehensive global coverage; LEO/GEO tracking; military & civil use; small debris focus	Optical networks, laser ranging, radio monitoring	Radar (main), Space Fence, global phased arrays
China	GEO tracking, military asset monitoring, regional expansion	Expandable radar, radio monitoring, limited laser	Optical networks, large telescopes, advanced optical stations
Russia	LEO tracking, military threat detection, modernization	Optical telescopes, radio monitoring, limited laser	Radar (main), Soviet-era network, Voronezh radars
European Union	Civil programs, cooperative approach, scientific focus	Laser ranging, radio monitoring	Balanced radar & optical, cooperative network

جدول ۳- بررسی دقیق پیکربندی‌های نظارت فضایی.

Table 3. Detailed analysis of space surveillance configurations.

Country/Region	Strategic Impact	Considerations	Technical Details	Configuration
United States	Space dominance, advanced threat detection, strong deterrence	Real-time tracking, full orbital coverage, rapid response	Multi-band L/S/X, phased arrays, integrated command	Distributed radar network
	Comprehensive catalog, improved situational awareness	Day/night ops, object characterization, weather-dependent	GEODSS 1m telescopes, automated, multi-site	Global optical network
	Leadership in SDA, crisis management superiority	Fast event response, redundancy, flexible response	AI fusion, commercial integration, distributed command	Integrated command
China	Regional control, rising influence, strong defense	Strong regional monitoring, limited global reach	High power radar, large optical telescopes, automated	Dense regional coverage
	Higher readiness, limited cooperation	Rapid regional response, efficient allocation	Unified command, civil-military integration	Centralized control
	Growing autonomy, reduced dependence	Independent ops, tech gaps	Advanced optics, modern processing	Technology-centered
Russia	Territorial defense, limited global reach	Good missile defense, Southern gaps, all-weather	Radar systems, older facilities	Northern Hemisphere network
	Enhanced military ability, improved awareness	Better detection, better integration	Upgraded radar, new optical assets	Modernized structure
	Stable basic ability, limited advanced tools	Reliability/maintenance challenges	Soviet-era bases + upgrades	Hybrid legacy
European Union	International cooperation, regional security	Flexible ops, complex coordination	Distributed assets, joint control, standards	Collaborative network
	Research leadership, limited military	Excellent object characterization	Research-grade instruments	Science-oriented
	Diplomatic advantages, complex crises	Flexible resource use	Shared protocols, distributed processing	Multinational integration

روسیه با بهره‌گیری از شبکه‌های نظارتی در نیمکره شمالی و فناوری‌های راداری قدیمی شوروی، دارای دفاع سرزمینی قوی اما پوشش محدود جهانی دارد. برنامه نوسازی این کشور با ارتقاء فناوری‌های راداری و ترکیب سامانه‌های جدید و قدیمی، توانسته است قابلیت تشخیص و عملیات کارآمدتری ایجاد کند. استفاده از زیرساخت‌های دوران شوروی به‌همراه ارتقاءهای مدرن، پایه فناوری ترکیبی و مقرون به‌صرفه‌ای را ارائه داده، اما همچنان چالش‌هایی در زمینه قابلیت اطمینان عملیاتی و نگهداری وجود دارد. اتحادیه اروپا با رویکرد شبکه مشارکتی و توزیع دارایی‌های ملی در کشورهای عضو، قابلیت پوشش گسترده و انعطاف‌پذیری عملیاتی را تضمین کرده است. با این‌حال، این ساختار نیازمند هماهنگی پیچیده‌ای میان اعضا است. جهت‌گیری علمی اتحادیه، ابزارهای با

دقت بالا و سامانه‌های تحقیقاتی پیشرفته‌ای را ارائه می‌دهد که برای کاربردهای نظامی محدود ولی در تحقیقات فضایی و تجاری کاربردی موثر هستند. ادغام چندملیتی و استفاده از پروتکل‌های داده مشترک باعث افزایش توان دیپلماتیک و موقعیت بین‌المللی این اتحادیه شده است، اما فرآیند تصمیم‌گیری و واکنش به بحران‌ها را پیچیده‌تر می‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که، هر کشور با توجه به اهداف استراتژیک و منابع خود، توانسته رویکردی منحصر به‌فرد برای نظارت فضایی توسعه دهد که در بسیاری از موارد تکمیل‌کننده یا رقیب سایرین است.

علی‌رغم پیشرفت‌های قابل توجه در سامانه‌های نظارت فضا در سطح جهان، چندین چالش و شکاف همچنان مانع از توانایی این سیستم‌ها برای تضمین کامل ایمنی و امنیت فضا می‌شوند. درک این محدودیت ها برای توسعه یک قابلیت آگاهی موقعیت فضایی قوی‌تر و جامع‌تر، به‌ویژه برای کشورهایی مانند ایران که به دنبال ایجاد یا ارتقای سامانه‌های نظارت فضایی خود هستند، بسیار مهم است. این بخش چالش‌ها و شکاف‌های موثری در سامانه‌های نظارت فضایی فعلی را با تمرکز بر جنبه‌های فنی، عملیاتی، ژئوپلیتیکی و هماهنگی نشان می‌دهد.

چالش‌های فناورانه

الف) قابلیت شناسایی و ردیابی محدود:

در حالی‌که سامانه‌های پایش اجرام فضایی مدرن از فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند رادارهای آرایه فازی، تلسکوپ‌های اپتیکی و سامانه‌های فضایی استفاده می‌کنند، اما همچنان در شناسایی و ردیابی اجرام کوچک‌تر، به‌ویژه زباله‌های فضایی با قطر کمتر از ۱۰ سانتی‌متر، با محدودیت‌هایی مواجه هستند. این زباله‌های کوچک خطرات قابل توجهی برای ماهواره‌های عملیاتی و مأموریت‌های فضایی انسانی ایجاد می‌کنند، زیرا حتی قطعات ریز می‌توانند به‌دلیل سرعت‌های بالا باعث آسیب‌های فاجعه‌بار شوند.

ب) محدودیت حسگر:

بسیاری از سامانه‌های زمینی موجود دارای محدودیت‌های مرتبط با شرایط آب و هوا، زمان روز و موقعیت جغرافیایی هستند. به‌عنوان مثال، تلسکوپ‌های اپتیکی نمی‌توانند در شرایط ابری یا در طول روز به‌طور موثر عمل کنند. به‌طور مشابه، رادارهای زمینی به‌دلیل موقعیت‌های ثابت و محدودیت‌های خط دید محدود می‌شوند که منجر به شکاف‌هایی در سطح پوشش رصد فضایی می‌شود.

ج) پوشش فضایی ناکافی:

اگرچه سامانه‌های فضا پایه مزایای موثری مانند پوشش مداوم و میدان دید وسیع‌تر را در SSA ارائه می‌کنند، اما به‌دلیل هزینه‌های بالا و پیچیدگی‌های فنی، استفاده از این حسگرها مقرون به‌صرفه نبوده و همچنان محدود است. اکثر کشورها به‌شدت به سامانه‌های زمینی متکی هستند که منجر به نظارت ناقص، به‌ویژه برای اجرام در مدار زمین ثابت (GEO)و مدارهای بالاتر از آن می‌شود.

د) گلوگاه‌های پردازش و تحلیل داده‌ها:

حجم عظیمی از داده‌های تولید شده توسط سامانه‌های SSA به قابلیت‌های پردازش پیشرفته برای بررسی و تحلیل موثر نیاز دارد. بسیاری از سامانه‌های مانیتورینگ فضایی به‌دلیل زیرساخت‌های پردازش داده قدیمی یا ناکافی محدود شده‌اند که منجر به تاخیر در تشخیص تهدید و ارزیابی ریسک می‌شود. علاوه بر این، ترکیب یادگیری ماشین و هوش مصنوعی (AI) برای بررسی خودکار داده‌ها هنوز در مراحل ابتدایی خود در بسیاری از سیستم‌ها است و بررسی‌های پیش‌بینی‌کننده و مدیریت ترافیک فضایی فعال را محدود می‌کند.

چالش‌های عملیاتی

الف) ترکیب و تجمیع داده‌ها:

SSA شامل جمع‌آوری داده‌ها از انواع حسگرها است که هر کدام ویژگی‌ها و خروجی‌های متفاوتی دارند. ترکیب این داده‌ها در یک تصویر منسجم و دقیق از محیط فضا همچنان یک چالش مهم است. فرمت‌های داده‌های متناقض، سطوح مختلف دقت و وضوح‌های زمانی متفاوت، ترکیب داده‌ها را پیچیده می‌کند، و اغلب منجر به اطلاعات ناقص یا غیرقابل اعتماد می‌شود.

ب) جلوگیری از برخورد و مدیریت ترافیک فضا:

با افزایش تعداد ماهواره‌ها و زباله‌های فضایی، اجتناب از برخورد و مدیریت ترافیک فضایی به چالش‌های عملیاتی حیاتی تبدیل شده است. سامانه‌های فعلی اغلب با ارائه هشدارهای برخورد به‌موقع و دقیق مشکل دارند که منجر به افزایش خطر برخورد بالقوه می‌شود. نیاز به تصمیم‌گیری سریع و هماهنگی بین اپراتورهای ماهواره‌ای، مدیریت ترافیک فضایی را به‌ویژه در مناطق مداری پرتراکم مانند مدار پایین زمین (LEO) پیچیده‌تر می‌کند.

ج) پایش و پیش بینی اقلیم فضا:

رویدادهای اقلیم فضا، مانند طوفان‌های خورشیدی و طوفان‌های ژئومغناطیسی، می‌توانند به‌طور قابل توجهی بر عملیات ماهواره تاثیر بگذارند و خطراتی را برای دارایی‌های وزیرساخت‌های فضایی ایجاد کنند. در حالی‌که برخی از سامانه‌های SSA دارای نظارت بر اقلیم فضایی هستند، توانایی پیش‌بینی دقیق چنین رویدادهایی و کاهش

اثرات آن‌ها هنوز محدود است. نظارت پیشرفته و مدل‌سازی پیش‌بینی کننده برای بهبود آمادگی و واکنش به رویدادهای جوی فضا مورد نیاز است [۱۸].

چالش‌های ژئوپلیتیک

الف) امنیت ملی و حساسیت داده‌ها:

بسیاری از کشورها SSA را به‌عنوان یک جزء حیاتی زیرساخت امنیت ملی خود می بینند که منجر به محدودیت‌هایی در اشتراک گذاری داده‌ها و همکاری می‌شود. این عدم شفافیت می‌تواند نقاط کوری را در نظارت بر فضای جهانی ایجاد کند و اثربخشی کلی تلاش‌های SSA را کاهش دهد. نگرانی‌های امنیت ملی اغلب دامنه همکاری‌های بین‌المللی را محدود می‌کند و مانع از توسعه درک جامع و مشترک از محیط فضایی می‌شود [۱۹].

ب) فقدان روندها و موافقت نامه‌های بین‌المللی:

با توجه به رشد سریع فعالیت‌های فضایی توسط کشورها و شرکت‌های خصوصی، فضا به محیطی پرترافیک و پیچیده تبدیل شده است. این افزایش فعالیت‌ها که شامل پرتاب ماهواره‌ها، انجام مأموریت‌های فضایی و استفاده نظامی از فضا است، نگرانی‌های امنیتی متعددی ایجاد کرده است. برای مقابله با این تهدیدات و حفظ امنیت فضا و پایداری آن، کارگروه بازکاهش تهدیدات فضایی با رفتار مسئولانه (OEWG)[1] در سال ۲۰۲۱ تحت نظارت سازمان ملل متحد ایجاد شد. عدم وجود روندها، مقررات و توافق نامه‌های پذیرفته شده جهانی برای فعالیت‌های فضایی، تلاش ها برای تضمین استفاده ایمن و پایدار از فضا را پیچیده می‌کند. در حالی‌که برخی از ابتکارات، مانند دستورالعمل‌های سازمان ملل متحد برای پایداری طولانی مدت فعالیت‌های فضایی، چارچوبی برای رفتار مسئولانه ارائه می‌دهند، هنوز هیچ معاهده بین‌المللی الزام‌آوری وجود ندارد که بر مدیریت ترافیک فضایی یا کاهش زباله‌ها حاکم باشد. این شکاف نظارتی، اجرای انطباق و پاسخگویی به کسانی را که در تخریب محیط فضا نقش دارند، چالش برانگیز می‌کند [۲۰].

ج) پویایی رقابتی:

رقابت ژئوپلیتیکی بین کشورهای بزرگ فضاپیما اغلب منجر به عدم همکاری و به اشتراک گذاری اطلاعات در SSA می‌شود. برای مثال، کشورها ممکن است به‌دلیل نگرانی در مورد افشای قابلیت‌های تکنولوژیکی یا اهداف نظامی خود، تمایلی به افشای قابلیت‌های کامل سامانه‌های نظارتی خود یا به اشتراک گذاشتن داده‌های حساس نداشته باشند. این پویایی رقابتی می‌تواند منجر به اضافه‌کاری، ناکارآمدی و عدم اعتماد شود و تلاش‌های جمعی برای افزایش ایمنی و امنیت فضا را تضعیف کند [۲۰].

گلوگاه‌های توسعه شبکه همکاری

الف) تلاش‌های ناپیوسته SSA:

فعالیت‌های SSA اغلب در بین سازمان‌های متعدد، هم در داخل و هم بین کشورها تقسیم می‌شوند. این تقسیم‌بندی منجر به کیفیت ناسازگار داده، شکاف در پوشش و تلاش‌های تکراری می‌شود. در برخی موارد، فقدان یک مرجع هماهنگ کننده مرکزی برای فعالیت های SSA منجر به داده‌ها و ارزیابی‌های متناقض می‌شود و قابلیت اطمینان سامانه‌های نظارت فضایی را کاهش می‌دهد [۲۱].

ب) همکاری ناکافی با نهادهای تجاری:

مشارکت فزاینده نهادهای تجاری در فعالیت‌های فضایی فرصت‌ها و چالش‌هایی را برای SSA ایجاد می‌کند. در حالی‌که اپراتورهای ماهواره‌ای تجاری می‌توانند داده‌ها و قابلیت‌های ارزشمندی را ارائه دهند. ترکیب این دارایی‌ها در چارچوب‌های ملی و بین‌المللی SSA هنوز در حال پیشرفت است. نیاز به هماهنگی و سازوکارهای به اشتراک‌گذاری داده بهتر بین دولت و نهادهای تجاری برای افزایش اثربخشی کلی تلاش‌های نظارت بر فضا وجود دارد [۲۰].

ج) تعامل محدود با کشورهای فضایی در حال ظهور:

از آنجایی‌که کشورهای بیشتری توانایی های فضایی خود را توسعه می‌دهند، ضروری است که کشورهای فضایی نوظهور در تلاش‌های جهانی SSA گنجانده شوند. با این‌حال، تعامل و همکاری محدود با این کشورها می‌تواند شکاف‌هایی را در نظارت بر فضای جهانی ایجاد کند، زیرا ممکن است منابع و تخصص لازم برای توسعه مستقل قابلیت‌های SSA را نداشته باشند. تشویق به مشارکت کشورهای فضایی نوظهور از طریق طرح‌های ظرفیت‌سازی و چارچوب‌های مشارکتی می‌تواند به رفع این شکاف‌ها و ترویج رویکرد فراگیرتر به SSA کمک کند.

محدودیت‌های منابع و بودجه

الف) هزینه‌های بالای زیرساخت SSA:

توسعه و حفظ یک سامانه نظارت بر فضای موثر، به منابع مالی قابل توجهی نیاز دارد. هزینه‌های بالای مربوط به ساخت و راه‌اندازی رادارهای زمینی، تلسکوپ های اپتیکی و سامانه‌های فضایی اغلب توانایی کشورها، به‌ویژه کشورهایی که بودجه کمتری دارند، برای ایجاد قابلیت‌های جامع SSA محدود می‌کند. محدودیت‌های منابع همچنین

1. Open-Ended Working Group

بر توانایی ارتقا و نوسازی سامانه‌های موجود تأثیر می‌گذارد که منجر به شکاف‌های بالقوه در سطح پوشش و قابلیت آن می‌شود.

ب) اولویت‌بندی منابع:
کشورها باید در تخصیص منابع بین SSA و سایر اولویت‌های ملی مانند توسعه اقتصادی، مراقبت‌های بهداشتی و آموزش تعادل ایجاد کنند. در نتیجه، برنامه‌های SSA ممکن است با کمبود بودجه یا تاخیر در اجرا مواجه شوند، به‌ویژه در کشورهایی که فعالیت‌های فضایی اولویت اصلی نیستند. اطمینان از سرمایه‌گذاری پایدار در زیرساخت‌ها و قابلیت‌های SSA برای حفظ یک سامانه نظارت فضایی قوی و مؤثر بسیار مهم است.

مدل تأمین مالی سامانه پایش اجرام فضایی ایران

توسعه و استقرار سامانه پایش اجرام فضایی ایران مستلزم طراحی مدل مالی پایداری است که بتواند نیازهای تحقیقاتی، زیرساختی و عملیاتی این طرح را در بلندمدت تأمین نماید. بررسی تجربه کشورهای پیشرو نشان می‌دهد که پایداری مالی در پروژه‌های فضایی تنها از طریق تنوع‌بخشی به منابع تأمین اعتبار و کاهش وابستگی به بودجه‌های دولتی حاصل می‌شود. در ایران نیز مطالعات متعددی پیرامون الگوهای تأمین مالی فناوری‌های پیشرفته، از جمله در صنعت هوافضا و بخش فضایی، انجام شده است. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که ترکیب منابع دولتی، خصوصی و درآمدهای اختصاصی، اثربخش‌ترین راهبرد برای تأمین مالی پایدار پروژه‌های کلان فضایی به‌شمار می‌رود. در چارچوب مدل پیشنهادی، منابع مالی پروژه در سه طبقه اصلی تعریف می‌شوند: منابع دولتی و عمومی، منابع اختصاصی سازمان فضایی و منابع مشارکتی و سرمایه‌گذاری بخش خصوصی. در حوزه منابع دولتی، تخصیص اعتبارات سرمایه‌ای از محل بودجه سنواتی کشور برای احداث زیرساخت‌های پایه‌ای نظیر رادارهای آرایه فازی، تلسکوپ‌های اپتیکی و مراکز پردازش داده ضروری است. همچنین می‌توان با تعیین ردیف‌های مستقل در لایحه بودجه ملی، پایداری مالی پروژه را در دوره‌های بلندمدت تضمین کرد. منابع اختصاصی سازمان فضایی می‌تواند از طریق فروش داده‌ها و خدمات فضاپایه، از جمله تصاویر ماهواره‌ای، خدمات رصد، پایش اقلیم فضا، یا ارائه داده‌های تحلیلی به نهادهای دولتی و خصوصی تأمین شود. توسعه بازار خدمات فضاپایه در داخل کشور، نه تنها بازگشت سرمایه را ممکن می‌سازد، بلکه موجب افزایش خودکفایی مالی و استقلال عملیاتی سامانه نیز خواهد شد. در بخش سرمایه‌گذاری بخش خصوصی، استفاده از الگوی مشارکت عمومی-خصوصی و سرمایه‌گذاری خطرپذیر برای توسعه بخش‌های فناورانه و نوآورانه توصیه می‌شود. شرکت‌های دانش‌بنیان و مراکز رشد فناوری می‌توانند در تولید تجهیزات حسگری، توسعه نرم‌افزارهای تحلیل داده، یا طراحی زیرسامانه‌های هوش مصنوعی مشارکت کنند. همچنین مدل تأمین مالی جمعی می‌تواند برای پروژه‌های کوچک‌تر یا مأموریت‌های آزمایشی مورد استفاده قرار گیرد، به‌ویژه در حوزه‌هایی که جنبه‌های آموزشی یا علمی عمومی دارند. از دیگر ارکان مدل مالی پیشنهادی، مشوق‌های حمایتی و مالیاتی است. اعمال معافیت مالیاتی برای شرکت‌های فعال در حوزه فناوری‌های فضاپایه، تخصیص تسهیلات بانکی کم‌بهره، و تضمین خرید خدمات فضایی توسط دولت می‌تواند نقش مهمی در ترغیب بخش خصوصی و جذب سرمایه‌گذاران ایفا کند. علاوه بر این، استفاده از منابع بین‌المللی و همکاری‌های چندجانبه، نظیر مشارکت در طرح‌های مشترک با آژانس‌های فضایی خارجی یا بهره‌مندی از کمک‌ها و وام‌های توسعه‌ای نهادهای بین‌المللی، می‌تواند به‌عنوان مکملی برای منابع داخلی مورد توجه قرار گیرد. به‌منظور تضمین کارایی مالی در طول چرخه عمر پروژه، پیشنهاد می‌شود تأمین منابع مالی به‌صورت مرحله‌ای و تدریجی انجام گیرد؛ به گونه‌ای که در فازهای تحقیق و توسعه از اعتبارات ملی و حمایتی، و در فازهای استقرار و بهره‌برداری از ترکیب درآمدهای اختصاصی و سرمایه‌گذاری بخش خصوصی استفاده شود. همچنین پایش مستمر عملکرد مالی سامانه از طریق شاخص‌هایی نظیر «بازگشت سرمایه»، «نسبت هزینه به منفعت»، و «پایداری جریان نقدی» باید به‌صورت دوره‌ای انجام گیرد تا ضمن شفافیت مالی، زمینه تصمیم‌گیری مؤثر برای توسعه آتی فراهم گردد. در مجموع، مدل تأمین مالی پیشنهادی بر مبنای ترکیب منابع چندگانه، ایجاد سازوکارهای مشارکتی، تقویت ظرفیت‌های داخلی، و بهره‌گیری از همکاری‌های بین‌المللی استوار است. این رویکرد نه تنها پایداری اقتصادی و عملیاتی سامانه پایش اجرام فضایی ایران را تضمین می‌کند، بلکه زمینه‌ساز رشد صنعت فضایی کشور و حضور فعال آن در اقتصاد فضایی منطقه‌ای و جهانی خواهد بود.

طرح مفهومی سامانه پایش اجرام فضایی ایران

مدیریت خطرات در هر سیستمی یکی از عناصر اساسی در طراحی و اجرای سامانه پایش اجرام فضایی محسوب می‌شود، زیرا ماهیت پیچیده و چندلایه فعالیت‌های فضایی، کشور را در معرض تهدیدات فنی، عملیاتی، محیطی و ژئوپلیتیکی قرار می‌دهد. از این‌رو، تدوین چارچوبی جامع برای شناسایی، ارزیابی، کنترل و پایش مستمر ریسک‌ها در تمامی مراحل طراحی، پیاده‌سازی و بهره‌برداری از سامانه ضروری است. در حوزه فنی، ریسک‌هایی مانند خرابی تجهیزات حسگر، خطا در کالیبراسیون داده‌ها، قطع ارتباط با ماهواره‌های پایش و ناهماهنگی میان زیرسامانه‌های راداری و اپتیکی می‌تواند عملکرد

کلی سامانه را تحت تأثیر قرار دهد. به‌منظور کاهش این نوع مخاطرات، بهره‌گیری از معماری قابل توسعه طراحی سامانه‌های پشتیبان اضطراری و انجام آزمون‌های اعتبارسنجی دوره‌ای داده‌ها توصیه می‌شود. در سطح عملیاتی، خطراتی نظیر اختلال در فرآیند پایش مداوم، تأخیر در پاسخ به هشدارهای برخورد احتمالی و ناهماهنگی در مراکز فرماندهی می‌تواند اثربخشی سامانه را کاهش دهد. برای مقابله با این تهدیدات، تدوین پروتکل‌های پاسخ سریع، آموزش و تمرین نیروهای متخصص، و اجرای شبیه‌سازی‌های منظم وضعیت‌های بحرانی ضروری است تا زمان واکنش سامانه به حداقل برسد. علاوه بر این، شرایط متغیر اقلیم فضا نظیر طوفان‌های خورشیدی و افزایش تشعشعات کیهانی، ممکن است بر عملکرد حسگرها و تجهیزات مداری تأثیر منفی بگذارد. ادغام مدل‌های پیش‌بینی اقلیم فضا و زیرسامانه‌های هشدار سریع با سامانه پایش داخلی، می‌تواند در بهبود آمادگی و کاهش اثرات این پدیده‌ها نقش مؤثری داشته باشد. در بُعد امنیتی، داده‌های حاصل از سامانه‌های نظارت فضایی به‌دلیل ماهیت راهبردی، نیازمند حفاظت چندلایه هستند. تهدیداتی همچون حملات سایبری، نفوذ داده و انتشار اطلاعات نادرست می‌تواند پیامدهای امنیتی جدی در پی داشته باشد. برای مقابله با این خطرات، استفاده از رمزنگاری پیشرفته، احراز هویت چندمرحله‌ای، نظارت مستمر بر شبکه‌های ارتباطی و ایجاد مرکز عملیات امنیت فضایی ضروری است. از منظر ژئوپلیتیکی نیز، وابستگی به منابع داده خارجی و محدودیت‌های همکاری بین‌المللی می‌تواند تداوم و پایداری سامانه را تحت تأثیر قرار دهد. به‌همین دلیل، توسعه چارچوب‌های حقوقی، انعقاد توافق‌نامه‌های دو و چندجانبه با کشورهای همسو و تلاش برای استقلال نسبی در جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌منظور مدیریت جامع ریسک‌ها، سامانه پایش اجرام فضایی ایران باید از چرخه مدیریت ریسک فضایی پیروی کند که شامل مراحل شناسایی، ارزیابی احتمال و اثر، طراحی و اجرای راه‌کارهای کاهش ریسک، و پایش و بازنگری مستمر است. اجرای این چرخه موجب افزایش تاب‌آوری سامانه، بهبود قابلیت اطمینان، و ارتقای سطح ایمنی ملی در حوزه فعالیت‌های فضایی خواهد شد. با استقرار نظام منسجم مدیریت خطرات، سامانه پیشنهادی قادر خواهد بود در برابر تهدیدات فنی، عملیاتی و ژئوپلیتیکی پایداری بیشتری از خود نشان دهد و از دارایی‌های فضایی کشور به‌صورت مؤثرتر حفاظت کند.

اهمیت روزافزون فضا برای امنیت ملی، توسعه اقتصادی و پیشرفت علمی، کشورهای سراسر جهان را بر آن داشته است تا قابلیت‌های آگاهی موقعیت فضایی (SSA) را توسعه دهند. برای ایران، ایجاد یک سامانه نظارت فضایی جامع نه تنها برای حفاظت از دارایی‌های ماهواره‌ای در حال رشد، بلکه برای ارتقای جایگاه خود به‌عنوان یک بازیگر در جامعه جهانی فضایی ضروری است. بررسی و تحلیل تطبیقی سامانه‌های پایش فضایی جهانی چندین نکته کلیدی و تجربه را ارائه می‌دهد که می‌تواند به توسعه یک سامانه نظارت فضایی مناسب برای ایران کمک کند:

۱) ادغام متوازن حسگرها: ایران باید ادغام متوازن سامانه‌های زمینی و فضایی را برای پوشش جامع فعالیت‌های فضایی در نظر بگیرد. استفاده از فناوری‌های پیشرفته، مانند رادارهای آرایه فازی و اپتیک تطبیقی، می‌تواند تشخیص و ردیابی زباله‌های کوچک و دیگر اجرام فضایی را افزایش دهد.

۲) اشتراک گذاری داده‌ها و توسعه شبکه همکاری: برای به حداکثر رساندن اثربخشی تلاش‌های سامانه نظارت فضایی ، ایران باید فرصت هایی را برای به اشتراک گذاری داده‌ها و همکاری با سایر کشورها و سازمان‌ها را بررسی کند. این رویکرد می‌تواند به پر کردن شکاف‌های سطح پوشش، افزایش آگاهی موقعیتی و کمک به امنیت فضای جهانی کمک کند.

۳) تمرکز بر مقیاس پذیری و انعطاف پذیری: با توجه به ماهیت در حال تغییر فعالیت های فضایی، سامانه نظارت فضایی ایران باید برای مقیاس پذیری و انعطاف پذیری طراحی شود. این شامل توانایی ادغام حسگرها و فناوری های جدید به محض در دسترس شدن و سازگاری با تهدیدها و چالش‌های نوظهور است.

۴) توسعه قابلیت‌های بومی: در حالی‌که همکاری بین‌المللی مهم است، توسعه قابلیت‌های سامانه نظارت فضایی بومی برای تضمین امنیت ملی و حفاظت از زیرساخت‌ها و دارایی‌های فضایی بسیار مهم است. ایران باید بر ایجاد یک زیرساخت قوی و متکی به خود تمرکز کند که بتواند از اهداف غیرنظامی و نظامی پشتیبانی کند

۵) سرمایه‌گذاری در پردازش پیشرفته داده‌ها: سامانه نظارت فضایی موثر به قابلیت‌های پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های پیشرفته نیاز دارد. ایران باید روی الگوریتم‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی سرمایه‌گذاری کند تا ترکیب داده‌ها، پیش‌بینی مسیر و ارزیابی خطر برخورد را افزایش دهد

بر این اساس می‌توان اهداف زیر را جهت توسعه سامانه پایش فضایی ایران ذکر نمود:

۱) اطمینان از امنیت ملی: حفاظت از دارایی‌های فضایی و زیرساخت‌های ایران در برابر تهدیدات احتمالی، از جمله زباله‌های فضایی، اقدامات مخرب و خصمانه، و رویدادهای جوی فضایی.

۲) تقویت مدیریت ترافیک فضایی: بهبود توانایی ایران در نظارت و مدیریت ترافیک فضایی برای جلوگیری از برخورد و کاهش خطرات برای

ماهواره‌های خود و سایر کشورهای فضایی.

۳) پشتیبانی از تحقیق و توسعه علمی: تسهیل مطالعه پدیده‌های فضایی و کمک به علم فضای جهانی با توسعه قابلیت‌های رصد فضایی بومی.

۴) ارتقاء همکاری بین‌المللی: تعامل با شرکای منطقه‌ای و بین‌المللی برای به اشتراک‌گذاری داده‌ها، افزایش آگاهی موقعیتی و کمک به تلاش‌های جهانی برای استفاده پایدار از فضا.

۵) برای دستیابی به این اهداف، سامانه نظارت فضایی پیشنهادی برای ایران از اجزای کلیدی زیر تشکیل خواهد شد:

سامانه‌های زمین پایه

الف) سامانه راداری:

ایران باید شبکه‌ای از رادارهای زمینی با فناوری آرایه فازی برای نظارت مستمر اجرام مدار پایین زمین (LEO) ایجاد کند. این رادارها قادر به شناسایی و ردیابی طیف وسیعی از اجرام از جمله زباله‌های کوچک هستند و می‌توانند به‌صورت استراتژیک در سراسر کشور برای حداکثر پوشش قرار گیرند.

ب) تلسکوپ‌های اپتیکی:

به‌عنوان مکمل شبکه راداری، ایران باید مجموعه‌ای از تلسکوپ‌های اپتیکی را در مکان‌های مختلف برای نظارت بر اجرام در مدار متوسط زمین (MEO) و مدار زمین ثابت (GEO) ایجاد کند. این تلسکوپ‌ها، مجهز به اپتیک تطبیقی، تصاویری با وضوح بالا ارائه می‌کنند و از توصیف اجرام فضایی پشتیبانی می‌کنند.

ج) سامانه‌های رادیویی و مادون قرمز:

سامانه‌های مادون قرمز را می‌توان به شبکه زمینی اضافه کرد تا تشخیص اجسامی را که در طول موج‌های نوری به راحتی قابل مشاهده نیستند، به‌ویژه آنهایی که در مدارهای بالاتر یا در شرایط دید کم قرار دارند، افزایش دهد.

سامانه‌های فضا پایه

الف) ماهواره‌های نظارتی:

استقرار سامانه‌های فضایی، مانند ماهواره‌های کوچک مجهز به ابزارهای اپتیکی و راداری، به ایران قابلیت نظارت دائمی را می‌دهد که مکمل دارایی‌های زمین پایه این کشور است. این ماهواره‌ها می‌توانند پوشش مستمر مناطق مداری کلیدی، به‌ویژه GEO را ارائه دهند، جایی‌که سامانه‌های زمینی دارای محدودیت‌هایی هستند.

ب) CubeSats یا منظومه ماهواره‌ای کوچک:

ایران می‌تواند از مزایای منظومه ماهواره‌ای کوچک برای نظارت بر فضا استفاده کند. این ماهواره‌های کم‌هزینه و سریع قابل استقرار را می‌توان برای اهداف مختلفی مانند ردیابی زباله‌ها، پایش اقلیم فضا و انجام پایش‌های رصدی فضا پایه استفاده کرد.

زیرساخت پردازش و تجزیه و تحلیل داده ها

الف) مرکز پردازش داده متمرکز:

ایجاد یک مرکز پردازش داده متمرکز در ایران برای یکپارچه‌سازی داده‌های چند حسگر و تبدیل داده‌های خام به هوشمندی عملی بسیار مهم خواهد بود. این مرکز باید به قابلیت‌های محاسباتی پیشرفته، از جمله الگوریتم‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی (AI) برای تلفیق داده‌ها، پیش‌بینی مسیر و ارزیابی خطر برخورد مجهز باشد.

ب) نودهای پردازش داده توزیع شده:

برای اطمینان از افزونگی و انعطاف‌پذیری، ایران باید نودهای پردازش داده‌های توزیع‌شده را در نقاط مختلف جغرافیایی ایجاد کند. این نودها پردازش داده‌ها را در سطوح محلی تسهیل می‌کنند، تأخیر را کاهش می‌دهند و در صورت بروز اختلال در سیستم متمرکز، نسخه پشتیبان تهیه می‌کنند.

ج) راه حل‌های ابری:

استفاده از پلتفرم‌های ابری برای ذخیره‌سازی و پردازش داده‌ها می‌تواند مقیاس‌پذیری و انعطاف‌پذیری را افزایش دهد و به ایران امکان می‌دهد تا در صورت نیاز قابلیت‌های نظارت بر فضای خود را گسترش دهد. راه حل های مبتنی بر ابر همچنین دسترسی از راه دور و همکاری با شرکای بین‌المللی را تسهیل می‌کنند.

پایش اقلیم فضا

الف) ایستگاه‌های پایش زمینی:

ایران باید ایستگاه‌های پایش زمینی مجهز به مغناطیس‌سنج، تلسکوپ خورشیدی و سایر ابزارها برای نظارت بر رویدادهای جوی فضا ایجاد کند. این ایستگاه‌ها داده‌هایی در مورد فعالیت خورشیدی، طوفان‌های ژئومغناطیسی و سایر پدیده‌هایی که می‌توانند بر عملیات فضایی تأثیر بگذارند، ارائه می‌کنند.

ب) همکاری با شبکه‌های بین‌المللی:

ایران می‌تواند به شبکه‌های بین‌المللی پایش اقلیم فضایی موجود بپیوندد تا توانایی‌های خود را افزایش دهد. همکاری با سازمان‌هایی مانند سرویس بین‌المللی محیط زیست فضایی (ISES) دسترسی به طیف وسیع‌تری از داده‌ها و تخصص را فراهم می‌کند و توانایی ایران را برای پیش‌بینی و واکنش به رویدادهای جوی فضا بهبود می‌بخشد.

همکاری بین‌المللی و به اشتراک‌گذاری داده‌ها

الف) مشارکت‌های منطقه‌ای:
ایران باید به‌طور فعال مشارکت با کشورهای همسایه و سازمان‌های منطقه‌ای را برای ایجاد یک چارچوب SSA مشترک دنبال کند. تلاش‌های مشترک می‌تواند شامل مشاهدات مشترک، به اشتراک گذاری داده‌ها و پاسخ‌های هماهنگ به تهدیدات فضایی باشد.

ب) مشارکت در ابتکارات جهانی SSA:
مشارکت در ابتکارات جهانیSSA ، مانند طرح‌هایی که توسط دفتر امور فضای ماورای جو سازمان ملل (UNOOSA)[1] و انجمن داده‌های فضایی (SDA)[2] رهبری می‌شود، ایران را قادر می‌سازد تا در تلاش‌های بین‌المللی برای ارتقای ایمنی و پایداری فضا مشارکت داشته باشد و از آن‌ها بهره‌مند شود. مشارکت در این ابتکارات همچنین باعث افزایش شهرت ایران به‌عنوان یک بازیگر فضایی تعاونی و مسئول خواهد شد.

طرح اجرایی

برای تحقق سیستم پایش فضایی پیشنهادی، ایران باید یک طرح اجرایی پنج مرحله‌ای را اتخاذ کند که شامل مراحل زیر می‌باشد:

فاز ۱: مطالعه امکان‌سنجی و برنامه‌ریزی اولیه

هدف از این فاز انجام یک مطالعه امکان‌سنجی جامع برای ارزیابی الزامات فنی، مالی و عملیاتی سیستم پیشنهادی برای نظارت فضایی ایران می‌باشد. همچنین ایجاد یک کارگروه اختصاصی برای نظارت بر توسعه و اجرای سیستم نظارت فضایی امری ضروری و انکار ناپذیر است. علاوه بر این موارد، تعامل با دیگر بازیگران در این حوزه، از جمله سازمان‌های دولتی، مؤسسات دانشگاهی و شرکای صنعتی، برای تعریف الزامات سامانه و شناسایی منابع بالقوه بودجه و تخصص بسیار ضروری است.

فاز ۲: توسعه زیرساخت‌های زمینی

در این مرحله ساخت و استقرار سامانه‌های زمینی از جمله رادارها، تلسکوپ های اپتیکی و سامانه‌های فروسرخ در مکان‌های انتخابی در سراسر کشورشروع خواهد شد. همچنین توسعه مرکز پردازش داده‌های متمرکز و گره‌های پردازش توزیع شده و ایجاد قابلیت‌های پردازش و تحلیل داده‌های اولیه از اولویت بالایی برخوردار است. در این راستا می‌توان با راه‌اندازی ایستگاه‌های زمینی و پیوستن به شبکه‌های بین‌المللی، تلاش‌های پایش اقلیم فضا را آغاز نمود.

فاز ۳: استقرار سامانه‌های فضا پایه

در این مرحله پرتاب ماهواره‌های نظارتی و منظومه ماهواره‌ای کوچک مجهز به سامانه‌های SSA برای افزایش قابلیت‌های نظارت درLEO، MEO و GEO در اولویت می‌باشد. همچنین توسعه و استقرار CubeSats و سایر ماهواره‌های کوچک برای ماموریت‌های خاص SSA، مانند ردیابی زباله و نظارت بر اقلیم فضا از اهمیت بالایی در این فاز برخوردار است.

فاز ۴: یکپارچه‌سازی و گسترش

در این مرحله همه سامانه‌های زمینی و فضایی را در یک شبکه ملی SSA منسجم ادغام خواهد شد به‌طوری‌که بتوان از ترکیب و بررسی و تحلیل یکپارچه داده‌ها اطمینان حاصل کرد. در این راستا قابلیت‌های پردازش داده‌ها را باید از طریق راه‌حل‌های ابری و الگوریتم‌های پیشرفته هوش مصنوعی گسترش داده شود تا دقت و به‌موقع بودن داده‌های SSA را افزایش داد. همچنین باید با ایجاد موافقت نامه‌های رسمی با شرکای منطقه‌ای و بین‌المللی برای به اشتراک‌گذاری داده‌ها و فعالیت‌های مشترک SSA توانایی نظارت فضایی کشور را ارتقا داد.

فاز ۵: بهبود و ارتقاء مستمر

هدف در این فاز نظارت و ارزیابی مستمر عملکرد سیستم نظارت فضایی، شناسایی مناطق برای بهبود و ارتقا می‌باشد، که با سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه برای همگام شدن با پیشرفت‌های تکنولوژیکی و تهدیدات نوظهور در محیط فضایی و تقویت همکاری مداوم با شرکای بین‌المللی و مشارکت در طرح‌های جهانی SSA برای مشارکت و بهره‌مندی از تلاش‌های جمعی برای افزایش ایمنی و امنیت فضا می‌توان به این هدف رسید.

ارزیابی اثربخشی و کارایی سامانه پایش اجرام فضایی مستلزم تعریف مجموعه‌ای از شاخص‌های کلیدی عملکرد و معیارهای ارزیابی است تا بتوان میزان تحقق اهداف، قابلیت اطمینان و اثربخشی عملیاتی مدل مفهومی طراحی شده را به‌صورت کمی و کیفی سنجید. این شاخص‌ها به‌عنوان ابزار تصمیم‌سازی و پایش مستمر، نقش مهمی در بهبود عملکرد و افزایش بلوغ سامانه ایفا می‌کنند. یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها، دقت شناسایی و ردیابی اجرام فضایی است که نشان‌دهنده توان سامانه در تعیین موقعیت، سرعت و مسیر حرکت اجرام با حداقل خطا می‌باشد. افزایش این دقت وابسته به کیفیت حسگرها، میزان هم‌ترازی داده‌های چندمنبعی و کارایی الگوریتم‌های پردازش داده است. شاخص دوم، پوشش فضایی و زمانی است که بیانگر گستره

1. United Nations Office for Outer Space Affairs
2. Space Data Association

جغرافیایی و پیوستگی زمانی رصد سامانه است. هرچه این پوشش جامع‌تر و شکاف‌های مشاهده کمتر باشد، کارایی کلی سیستم بالاتر ارزیابی می‌شود. از دیگر شاخص‌های کلیدی می‌توان به زمان واکنش اشاره کرد که مدت زمان بین وقوع رویداد فضایی تا تولید هشدار یا تصمیم عملیاتی را اندازه‌گیری می‌کند. کاهش زمان واکنش مستقیماً با بهبود زیرساخت‌های پردازش داده، کارایی ارتباطات و آماده به‌کاری نیروهای عملیاتی ارتباط دارد. همچنین قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری سامانه از شاخص‌های حیاتی به‌شمار می‌آید و میزان عملکرد مداوم سامانه در شرایط مختلف محیطی و فنی را ارزیابی می‌کند. پایش مداوم این شاخص، امکان شناسایی سریع نقاط ضعف و افزایش تاب‌آوری شبکه را فراهم می‌سازد. در بُعد تحلیلی، دقت پیش‌بینی مسیر و برخورد معیار کلیدی دیگری است که توانایی سامانه در پیش‌بینی مسیر اجرام و هشدار به‌موقع درباره خطرات برخورد را نشان می‌دهد. صحت این پیش‌بینی‌ها تأثیر مستقیمی بر تصمیم‌گیری‌های راهبردی در مدیریت ترافیک فضایی دارد. همچنین، ظرفیت پردازش و تحلیل داده شاخصی برای ارزیابی کارایی مرکز پردازش متمرکز و نودهای توزیع‌شده است که سرعت و حجم داده‌های قابل پردازش در بازه زمانی مشخص را می‌سنجد. در زمینه همکاری و تعامل بین‌المللی، شاخص یکپارچگی و تبادل داده اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا میزان توانایی سامانه در ترکیب داده‌های چندمنبعی و تبادل اطلاعات با سایر شبکه‌های نظارتی جهانی را منعکس می‌کند. ارتقاء این شاخص موجب افزایش اعتبار و مشارکت ایران در فعالیت‌های بین‌المللی حوزه آگاهی موقعیت فضایی خواهد شد. علاوه بر شاخص‌های فوق، معیارهای پشتیبان دیگری نظیر کارایی هزینه‌ای پایداری عملکرد بلندمدت، و انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات فناورانه نیز باید مورد سنجش قرار گیرند تا سامانه بتواند با تحولات سریع حوزه فضا هماهنگ باقی بماند. مجموع این شاخص‌ها چارچوبی جامع برای ارزیابی عملکرد سامانه پیشنهادی فراهم می‌سازد و امکان بهینه‌سازی مستمر در سطوح فنی، عملیاتی و مدیریتی را فراهم می‌کند.

نتیجه‌گیری

توسعه و استقرار سامانه‌های نظارت فضایی برای تضمین ایمنی، امنیت و پایداری فعالیت‌های فضایی حیاتی شده‌اند. از آنجایی‌که کشورها برای امنیت ملی، رشد اقتصادی، تحقیقات علمی و ارتباطات به‌طور فزاینده‌ای به دارایی‌های فضا پایه متکی هستند، نمی‌توان اهمیت قابلیت‌های قوی آگاهی موقعیت فضایی (SSA) را نادیده گرفت. این مقاله سامانه‌های پایش فضایی مختلف جهانی را بررسی کرده، به تحلیل مقایسه‌ای قابلیت‌ها و محدودیت‌های آن‌ها پرداخته و یک سامانه جامع نظارت فضایی متناسب با نیازهای خاص و اهداف استراتژیک ایران را پیشنهاد کرده است. سامانه پیشنهادی براساس طرح مفهومی متناسب با نیاز راهبردی کشور شامل ادغام متوازن سامانه‌های زمینی و فضایی، بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته نظیر رادارهای آرایه فازی و اپتیک تطبیقی، توسعه زیرساخت‌های پردازش داده متمرکز و توزیع‌شده، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های بومی، ایجاد قابلیت‌های مقیاس‌پذیر و انعطاف‌پذیر برای مقابله با چالش‌های آینده، و تقویت همکاری‌های بین‌المللی برای اشتراک‌گذاری داده‌ها و ارتقای امنیت فضای جهانی است.

معماری‌های فن‌آوری متنوع: معماری‌های فنی سامانه‌های مانیتورینگ فضای موجود به‌طور قابل توجهی متفاوت است و اولویت‌های راهبردی، قابلیت‌های تکنولوژیکی و نیازهای عملیاتی مختلف را منعکس می‌کند. کشورهای دارای برنامه‌های فضایی پیشرفته، سامانه‌های پیچیده زمینی و فضایی، زیرساخت‌های پردازش داده یکپارچه، و چارچوب‌های مشترکی را توسعه داده‌اند که قابلیت‌های SSA قوی را ارائه می‌دهد. با این‌حال، این سامانه‌ها همچنین با چالش‌های فنی، عملیاتی و ژئوپلیتیکی از جمله قابلیت‌های محدود شناسایی و ردیابی زباله‌های کوچکتر، گلوگاه‌های پردازش داده‌ها و همکاری‌های بین‌المللی پراکنده روبرو هستند.

چالش‌ها و شکاف‌ها در سامانه‌های فعلی: علیرغم پیشرفت‌های قابل توجه، سامانه‌های نظارت فضای فعلی بدون محدودیت نیستند. مسائلی مانند پوشش محدود حسگر، مشکلات ترکیب داده‌ها، نظارت و پایش ناکافی اقلیم فضا، و محدودیت‌های ژئوپلیتیکی مانع از اثربخشی تلاش‌های جهانی SSA می‌شود. پرداختن به این چالش‌ها برای افزایش ایمنی و امنیت فضایی جهانی ضروری است، به‌ویژه با افزایش تعداد ماهواره‌های فعال و زباله‌های فضایی.

نیاز به راه‌حل‌های متناسب: نیازهای خاص و منافع استراتژیک کشورهایی مانند ایران، توسعه راه‌حل‌های پایش فضایی متناسب را ضروری می‌کند. ظرفیت‌های فضایی رو به رشد ایران، همراه با جاه‌طلبی‌های منطقه‌ای و بین‌المللی‌اش، نیازمند یک سامانه جامع SSA است که بتواند از دارایی‌های فضایی ملی محافظت کند، به حاکمیت فضایی جهانی کمک کند و از پیشرفت‌های علمی و فناوری حمایت کند. توسعه یک سامانه پایش اجرام فضایی و مانیتورینگ فضایی متناسب با نیازها و اهداف راهبردی ایران، گامی حیاتی در جهت ارتقای قابلیت‌های فضایی ایران و تامین منافع آن در محیط فضایی پر ترافیک و مناقشه برانگیز است. ایران با سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پیشرفته،

ایجاد زیرساخت‌های قوی و تقویت همکاری‌های بین‌المللی، می‌تواند خود را به‌عنوان یک مشارکت کننده مسئول و فعال در جامعه جهانی فضایی معرفی کند. سامانه پیشنهادی نه تنها به چالش‌ها و شکاف‌های موجود در پایش فضا می‌پردازد، بلکه راه را برای رشد و نوآوری آینده هموار می‌کند و تضمین می‌کند که ایران در خط مقدم فعالیت‌های فضایی در منطقه و فراتر از آن باقی می‌ماند. با حرکت رو به جلو، اجرای موفقیت آمیز این پیشنهاد مستلزم تعهد پایدار سیاست‌گذاران، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و تمایل به تعامل با جامعه بین‌المللی است. با انجام این کار، ایران می‌تواند به چشم‌انداز خود مبنی بر تبدیل شدن به یک کشور پیشرو در فضاپیمایی دست یابد و به تلاش جهانی برای تضمین پایداری بلند مدت فضا کمک کند.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

مراجع

[1] Y. Chen, G. Tian, J. Guo, and J. Huang, "Task planning for multiple-satellite space-situational-awareness systems," *Aerospace*, vol. 8, no. 3, 2021, Art. no. 73, https://doi.org/10.3390/aerospace8030073.

[2] K. U. Schrogl, C. Jorgenson, J. Robinson, and A. Soucek, *Space Traffic Management: Towards a Roadmap for Implementation*, Paris: International Academy of Astronautics, 2018.

[3] S. Moranta, T. Hrozensky, and M. Dvoracek, "Towards a European approach to space traffic management," European Space Policy Institute (ESPI), Full Report 71, 2020.

[4] H. S. Grant *et al.,* "Study to determine the feasibility of extending the search for near-Earth objects to smaller limiting diameters," Report of the Near-Earth Object Science Definition Team, NASA, 2003.

[5] G. Fonder, M. Hughes, M. Dickson, M. Schoenfeld, and J. Gardner, "Space fence radar overview," in *International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES)*, Miami, FL, USA, 2019.

[6] C. Walter, S. Bexten, T. Felsch, M. Shysh, and N. Elkmann, "Safety considerations for autonomous, modular robotics in aerospace manufacturing," *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 9, 2022, Art. no. 1024594, https://doi.org/10.3389/frobt.2022.1024594.

[7] G. Muntoni, G. Montisci, T. Pisanu, P. Andronico, and G. Valente, "Crowded space: A review on radar measurements for space debris monitoring and tracking," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 4, 2021, Art. no. 1364, https://doi.org/10.3390/app11041364.

[8] G. Hornung, R. Bendrath, and A. Pfitzmann, "Surveillance in Germany: Strategies and counterstrategies," in *Data Protection in a Profiled World,* S. Gutwirth, Y. Poullet, and P. De Hert, Eds. Dordrecht: Springer, 2010, pp. 139-156, https://doi.org/10.1007/978-90-481-8865-9_8.

[9] P. K. Seidelmann, "Space surveillance: United States, Russia, and China," *The Journal of the Astronautical Sciences*, vol. 59, no. 1-2, pp. 259-266, 2012, https://doi.org/10.1007/s40295-013-0016-3.

[10] M. E. Schwamb *et al.,* "Tuning the legacy survey of space and time (LSST) observing strategy for solar system science," *The Astrophysical Journal Supplement Series*, vol. 266, no. 2, 2023, Art. no. 22, https://doi.org/10.3847/1538-4365/acc173.

[11] T. H. Michal, J. P. Eglizeaud, and J. Bouchard, "GRAVES: The new French system for space surveillance," in *4th European Conference on Space Debris,* Darmstadt, Germany, 2005.

[12] H. Klinkrad, "Monitoring space–efforts made by European countries," in *International Colloquium on Europe and Space Debris*, Toulouse, France, 2002.

[13] T. Foken, M. Woche, S. H. Richter, D. Kretschmer, W. Baum, and V. Schindler, "Astroclimatological investigations at the Karl Schwarzschild observatory in Tautenburg/GDR," *Z. Meteorol*, vol. 40, pp. 280-285, 1990.

[14] H. W. Duerbeck, "National and international astronomical activities in Chile 1849–2002," *Interplay of Periodic, Cyclic and Stochastic Variability in Selected Areas of the HR Diagram*, *ASP Conference Series*, vol. 292, 2003.

[15] S. M. Pekkanen and P. Kallender-Umezu, "6. National security in Japan's space policy," in *Japan in Decline*, P. Jain and B. Williams, Eds. Netherlands: Brill, 2010, pp. 92-109, https://doi.org/10.1163/ej.9781906876364.i-230.47.

[16] J. Chriqui, "Military applications of India's space program: The military surveillance and reconnaissance system," *Institute of Peace and Conflict Studies*, 2006.

[17] P. Wood, A. Stone, and T. A. Lee, "China's ground segment: building the pillars of a great space power," China Aerospace Studies Institute, Montgomery, AL, BluePath Labs Report, 2021.

[18] C. Wang *et al.,* "China's ground-based space environment monitoring network—Chinese Meridian Project (CMP)," *Space Weather*, vol. 22, no. 7, 2022, Art. no. e2024SW003972, https://doi.org/10.1029/2024SW003972.

[19] M. Barbano, "Space traffic management and space situational awareness: The EU perspective," *Air and Space Law*, vol. 47, no. 4 /5, pp. 451-466, 2022, https://doi.org/10.54648/aila2022023.

[20] J. Bendisch, *Space Debris and Space Traffic Management Symposium 2005,* Proceedings of the International Academy of Astronautics Space Debris and Space Traffic Management Symposium, Held in Conjunction with the 56th International Astronautical Congress (IAC), Fukuoka, Japan, 2005, American Astronautical Society, 2006.

[21] S. M. Pekkanen and P. J. Blount, *The Oxford Handbook of Space Security,* Oxford University Press, 2024.