Archive of SID

Journal of
Space Science, Technology
& Applications (Persian)

Vol. 1, No. 2, pp.: 34-48
2022

Available in:
Journal.isrc.ac.ir/article_
146832.html

DOI:
10.22034/jssta.2022.309735.1034

Article Info

Received: 2021-10-9
Accepted: 2022-2-14

Keywords

Space Weather events, Solar storms, Space radiation, Monitoring systems, National center

How to cite this article

Omid Shekoofa, Maoud Khoshsima, **"Toward the Establishment of a National Center for Space Weather",** *", Journal of Space Science, Technology and Applications*, vol 1 (2), p.: 34-48, 2022.

Toward the Establishment of a National Center for Space Weather Services: Vision, Mission and Organization

Omid Shekoofa[*,1], Maoud Khoshsima[2]
Sajad Ghazanfarinia[3], Sajad Ghazanfarinia[4]

1,*. Satellite Research Institute, Iranian Space Research Center, o.shekoofa@isrc.ac.ir, Corresponding author
2. Satellite Research Institute (SRI) of Iranian Space Research Center (ISRC), khoshsima@alumni.ut.ac.ir
2. Satellite Research Institute (SRI) of Iranian Space Research Center (ISRC), s.ghazanfarinia@isrc.ac.ir
2. Satellite Research Institute (SRI) of Iranian Space Research Center (ISRC), f.bagheroskouei@isrc.ac.ir

Abstract

This article discusses the need for research, monitoring and forecasting services related to space weather events and the establishment of a national center to achieve these goals. It starts with an introduction to the growing dependence of human civilization on advanced technologies, including space technology, and with an overview of the big investments and costs incurred in building critical infrastructures on Earth and in space. Then, this paper investigates the vulnerability of these infrastructures to space weather events and the need to monitor and predict these phenomena. In the next section, some examples of monitoring and forecasting systems created by different countries and space organizations are introduced. Also, the need to establish a national center in Iran is proposed. The initial organizational structure and mechanism for the activities and cooperation between this center and other national and international institutions are discussed. Finally, different types of actions and the most important activities that can be carried out in this center are presented.

www.SID.ir

Archive of SID

دو فصلنامه
علـوم، فـناوری و
کاربردهـای فضـایی

سال اول، شماره ۲، صفحه ۴۸-۳۴
پاییز و زمستان ۱۴۰۰

دسترس‌پذیر در نشانی:
Journal.isrc.ac.ir/article_146832.html

DOI:
10.22034/jssta.2022.309735.1034

تاریخچه داوری

دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷

پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵

واژه‌های کلیدی

رخدادهای اقلیم فضا، توفان خورشیدی، تشعشعات فضایی، سامانه‌های پایشی، مرکز ملی پایش اقلیم فضا

نحوه استناد به این مقاله

امید شکوفا، مسعود خوش‌سیما، " ضرورت، چشم‌انداز، ماموریت و ساختار پیشنهادی برای ایجاد مرکز ملی مطالعات رخدادهای اقلیم فضا"، *دوفصلنامه علوم، فناوری و کاربردهای فضایی*، جلد اول، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، ۴۸-۳۴.

www.SID.ir

ضرورت، چشم‌انداز، ماموریت و ساختار پیشنهادی برای ایجاد مرکز ملی مطالعات رخدادهای اقلیم فضا

امید شکوفا [۱*]، مسعود خوش‌سیما [۲]، سجاد غضنفری‌نیا [۳]، فرهاد باقر اسکویی [۴]

۱،*. پژوهشکده سامانه های ماهواره، پژوهشگاه فضایی ایران، o.shekoofa@isrc.ac.ir (نویسنده مسئول)
۲. پژوهشکده سامانه‌های ماهواره، پژوهشگاه فضایی ایران، khoshsima@alumni.ut.ac.ir
۳. پژوهشکده سامانه‌های ماهواره، پژوهشگاه فضایی ایران، s.ghazanfarinia@isrc.ac.ir
۴. پژوهشکده سامانه‌های ماهواره، پژوهشگاه فضایی ایران، f.bagheroskouei@isrc.ac.ir

چکیده

در این مقاله به ضرورت انجام مطالعات، پایش و ارائه سرویس‌های مرتبط با رخدادهای اقلیم فضا و ایجاد یک مرکز ملی برای نیل به این اهداف پرداخته می‌شود. پس از بیان مقدمه‌ای در مورد وابستگی روزافزون تمدن بشر به فناوری‌های پیشرفته از جمله فناوری فضایی، و با مروری بر هزینه‌های کلانی که برای ایجاد زیرساخت‌های حیاتی بر روی زمین و در فضا صرف شده؛ این مقاله به بیان میزان آسیب‌پذیری این زیرساختها در برابر رخدادهای اقلیم فضا می‌پردازد؛ و ضرورت پایش و پیش‌بینی این پدیده‌ها را بررسی می‌کند. در ادامه، برخی از سامانه‌های پایش و پیش‌بینی ایجاد شده توسط کشورها و سازمان‌های فضایی مختلف معرفی می‌شوند. سپس، ضرورت ایجاد چنین مرکز یا نهادی در کشور مطرح می‌شود. آنگاه ساختار و سازوکار اولیه‌ای برای فعالیت‌ها و تعاملات این مرکز با سایر نهادهای ملی و بین‌المللی ارائه می‌شود. همچنین، سطوح مختلف اقدامات و اهم فعالیت‌های قابل انجام در این مرکز مورد اشاره قرار می‌گیرند.

Archive of SID

۱- مقدمه

مطابق آمار مرکز اطلاعات ژئوفیزیک ایالات متحده، طی ۴۰ سال گذشته بیش از ۴۵۰۰ مورد نقص عملکرد و خرابی تجهیزات فضایی و ماهواره‌ها به دلیل تشعشعات فضایی ناشی از رخدادهای اقلیم فضا[1] در ماموریت‌های مختلف بوده است. با رشد صنعت فضایی در نیم‌قرن اخیر، توجه به مقوله تشعشعات فضایی و روش‌های ایمن‌سازی فضانوردان و سامانه‌ها در مقابل اثرات تشعشعات بیش از پیش شده است. در عین حال، تلاش‌های زیادی برای ایمن‌سازی سامانه‌های فضایی در برابر تابش‌های ژئومغناطیسی[2] (اختلال در مگنتوسفر بر اثر تبادل انرژی بین توفان‌های خورشیدی و فضای اطراف زمین) و تشعشع ذرات پرانرژی مخرب (ناشی از توفان‌های خورشیدی و پرتوهای کیهانی) به عمل آمده که به ارتقای کارایی و طول عمر سامانه‌های فضایی منجر شده است [۳][۲][۱].

مدت‌ها پیش از این تلاش‌ها و از حدود ۱۵۰ سال قبل اهمیت فعالیت‌های خورشید و اثرات آن بر امور مختلف صنعتی، کشاورزی، زیستی و حتی اجتماعی بر روی زمین مورد مطالعه بوده و پایش فعالیت لکه‌های خورشیدی و بروز توفان‌های خورشیدی بخش مهمی از مطالعات متخصصان و دانشمندان در عرصه شناخت اقلیم فضا را شامل می‌شد. در سه دهه اخیر، اقلیم فضا و رخدادهای آن به عنوان یکی از دغدغه‌ها و ریسک‌های بالقوه برای توسعه پایدار تمدن بشر مطرح شده است، چراکه گستره این رخدادها و اثرات آنها از سطح خورشید و فضای میان‌سیاره‌ای تا مدارات اطراف زمین، سطح زمین و حتی اعماق اقیانوس‌ها را دربرمی‌گیرد [۵][۴].

اگر در آغاز عصر فضا این پدیده‌ها موضوعاتی کاملاً تخصصی در حوزه‌های فیزیک، مهندسی هسته‌ای و فناوری فضایی به‌شمار می‌آمدند، امروزه ضرورت شناخت اثرات و راهکارهای مواجهه با آنها به همه حوزه‌های صنعتی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و حتی سطوح راهبردی روابط بین‌الملل گسترش یافته است. به‌طوری‌که حتی نهادهای مهمی چون سازمان ملل به دنبال ایجاد معاهدات و دستورالعمل‌های مناسب برای مقابله با اثرات این رخدادها و همگرا نمودن فعالیت‌های بین‌المللی برای مطالعه، پایش، تحلیل و اطلاع‌رسانی درباره پیش‌بینی رخداد، اثرات و روش‌های حفاظت در برابر توفان‌های ناشی از فوران‌های خورشیدی و تشعشعات فضایی است. این فعالیت‌ها در سطوح آموزشی و ترویج، پژوهش‌ها و تحقیقات دانشگاهی، طراحی و ساخت سامانه‌های پایشی و اعلان خطر، شبیه‌سازی و مدل‌سازی پدیده‌ها، توسعه نرم‌افزارها و ابزارها، تدوین استانداردها و پروتکل‌ها، یک‌پارچه‌سازی سامانه‌ها و تبادل بلادرنگ اطلاعات در سطح بین‌المللی، به‌طور روزافزون در حال پیگیری است [۲].

با وجود انجام این فعالیت‌های گسترده در سطح دنیا، متاسفانه در کشور ما بحث اقلیم فضا و اثرات تشعشعات فضایی و توفان‌های خورشیدی بر سامانه‌ها و زیرساخت‌هایی که زندگی و توسعه اجتماعی ما به آنها وابسته‌اند، چندان جدی گرفته نشده است. نظر به اهمیت این موضوع، در این مقاله به بررسی ضرورت ایجاد یک مرکز ملی برای پایش پدیده‌های اقلیم فضا پرداخته می‌شود. بدین منظور، در ابتدا ضمن اشاره مختصر به ماهیت پدیده‌های اقلیم فضا، تنوع تشعشعات فضایی، اثرات ناشی از آنها، دامنه ریسک و اهمیت تهدیدات بیان شده و در ادامه چند نمونه از سامانه‌های مختلف پایشی فعال در دنیا معرفی می‌شوند. سپس لزوم ایجاد یک مرکز پایش ملی مطرح و ساختار اولیه‌ای برای آن پیشنهاد می‌شود. در خاتمه، اهم وظایف و سطوح فعالیت‌ها و اقدامات این مرکز مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲- ماهیت و اهمیت پدیده‌های اقلیم فضا

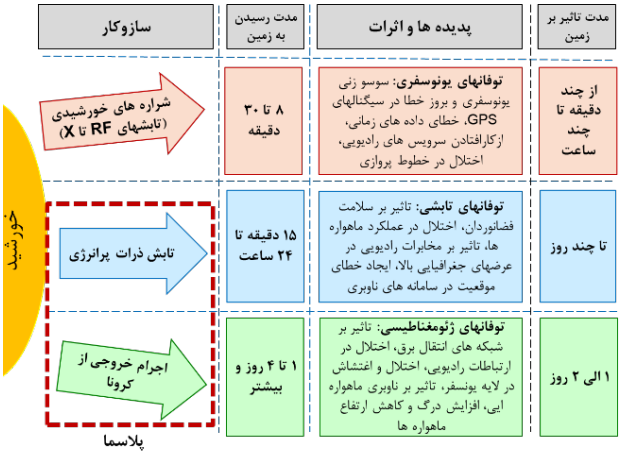
پدیده‌های اقلیم فضا بر اثر آزادشدن انفجاری انرژی ذخیره‌شده در میدان‌های مغناطیسی خورشید رخ می‌دهند و با ایجاد تغییر در میدان مغناطیسی اطراف زمین و جو فوقانی آن می‌توانند تاثیرات مخرب کوتاه‌مدت یا ماندگار بر سامانه‌های فضایی و زیرساخت‌های زمینی بگذارند. رخدادهای اقلیم فضا ناشی از فعالیت‌های شدید خورشید هستند، که هماهنگ و هم‌دوره با افزایش تعداد لکه‌های خورشیدی اتفاق می‌افتند. لکه‌های خورشیدی که در اصل نواحی با دمای کمتر سطح خورشید هستند

1 Space Weather
2 Geomagnetic storms (a major disturbance of Earth's magnetosphere that occurs when there is a very efficient exchange of energy from the solar wind into the space environment surrounding Earth.) source: https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/geomagnetic-storms

www.SID.ir

Archive of SID

همانند قطب‌های آهنربا، منبع انتشار امواج پرانرژی الکترومغناطیسی خورشید هستند. تعداد و وسعت این لکه‌ها و به‌تبع آن شدت فعالیت‌های خورشیدی در بازه‌های یازده ساله به‌صورت دوره‌ای کم و زیاد می‌شود. اندازه‌گیری این فعالیت‌ها از اواسط قرن هجدهم آغاز شده و خورشید ما هم اکنون در بیست و پنجمین دوره فعالیت‌های خود به‌سر می‌برد که به تازگی و از سال ۲۰۱۹ میلادی شروع شده است. شکل (۱) خلاصه‌ای از رخدادهای اقلیم فضا، سازوکارهای آنها، مدت رسیدن به زمین، مدت ماندگاری و تنوع پدیده‌ها و آثار آنها بر اجزا و سامانه‌های مختلف در کره زمین را نشان می‌دهد.

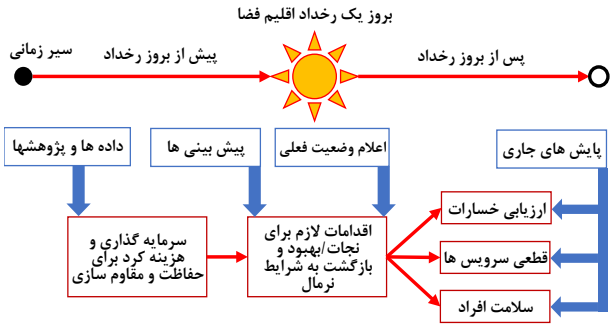


شکل۱. سازوکار رخدادهای اقلیم فضا، مدت و نوع تاثیرات آنها بر سامانه‌های فضایی و زمینی

این رخدادها به‌دلیل مختل کردن خدمات فضاپایه و همچنین ایجاد اختلال و خرابی در زیرساخت‌های اصلی نظیر انرژی، حمل و نقل، ارتباطات و ... آثار سوء اقتصادی زیادی به‌ویژه در حوزه‌های حمل‌ونقل، ترافیک هوایی، سرویس‌های رادیو تلویزیونی و مخابراتی و انتقال برق دارند. در عین حال، این رخدادها به‌دلیل افزایش میزان تشعشعات فضایی می‌توانند سلامت فضانوردان، خدمه و مسافران خطوط هوایی (به‌ویژه در عرض‌های جغرافیایی بالا)، و حتی حیات جانداران بر روی زمین، هوا یا در اقیانوس‌ها را به خطر بیاندازد [۶].

راهکار اصلی آمادگی در برابر این پدیده‌ها و کاهش خسارات ناشی از بروز آنها، پیش‌بینی زمان، مدت، نوع و شدت وقوع رخدادهای شدید است. این امر با بهره‌گیری از اطلاعات سامانه‌های مختلف (که در ادامه به آنها اشاره می‌شود) و پردازش داده‌های گوناگون و با به‌کارگیری تکنیک‌های مختلف توسط متخصصان حوزه اقلیم فضا انجام می‌گیرد که در کشور ما هم فعالیت‌ها و مطالعات ارزشمندی در این زمینه به انجام رسیده است [۷][۸][۹].

مطابق شکل (۲)، نتیجه این فعالیت‌های تحقیقاتی منجر به ارائه سرویس‌های پیش‌بینی رخدادهای اقلیم فضا می‌شود که به کمک آنها بهره‌برداران زیرساخت‌های فضایی و زمینی متوجه زمان، نوع، شدت و مدت اثرگذاری رخدادها می‌شوند و می‌توانند با اتخاذ راهکارهای مناسب از ایجاد خسارت در سیستم‌ها و آسیب دیدن زیرساخت‌ها و قطعی سرویس‌ها بکاهند [۶].

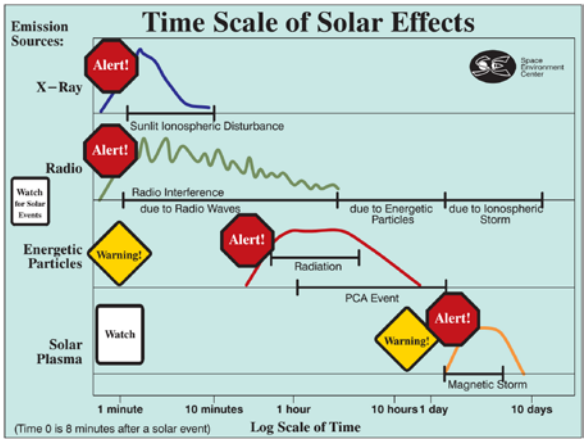


شکل۲. روند اقدامات مرتبط با سرویس های پیش‌بینی، اعلام وضعیت و پایش ها اثرات اقلیم فضا (بازترسیم شکل مرجع [۶])

شکل (۳) فرصت‌های زمانی معمول برای پیش‌بینی و اعلان خطر بروز رخدادهای اقلیم فضا را نشان می‌دهد. بدیهی است که برای رخدادهای بزرگ هر قدر اعلان‌های خطر زودتر صادر شود، می‌توان اقدامات پیشگیرانه یا اصلاحی بیشتر و کارآمدتری برای کاهش خطرات ناشی از این رخدادها انجام داد و از بروز خسارات بیشتر جلوگیری کرد [۱۰].

www.SID.ir

Archive of SID



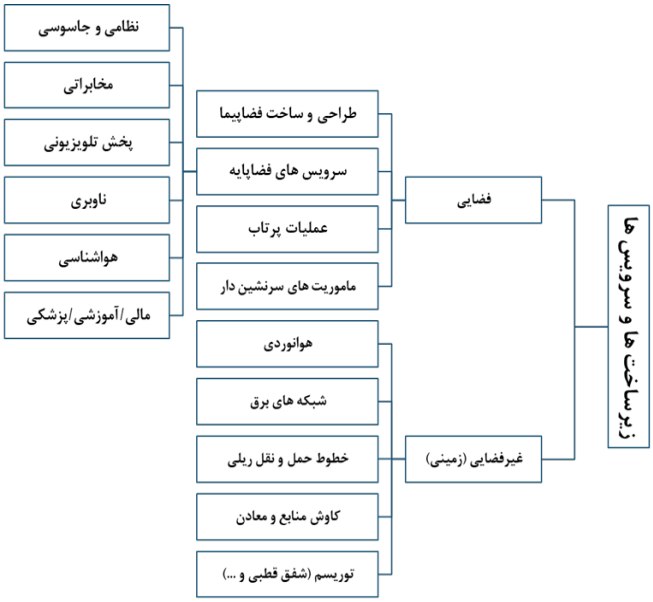
شکل۳. فرصت‌ها و بازه‌های زمانی معمول برای اعلان اخطار در صورت بروز رخدادهای اقلیم فضا [۱۰]

۳- ریسک‌ها و تهدیدات اقلیم فضا

رخدادهای اقلیم فضا در طی چند دهه گذشته بسیار مورد بررسی و تحقیق قرارگرفته‌اند. علاوه بر احتمال بروز رخدادها، مدت و شدت آنها، بررسی زیرساخت‌ها و سرویس‌های متاثر از این رخدادها و دامنه آسیب‌پذیری این زیرساخت‌ها بسیار مهم و مورد توجه بوده‌اند. مجموعه زیرساخت‌ها و سرویس‌های فضایی و زمینی که بر اثر رخداد پدیده‌های اقلیم فضا بیشتر تحت تاثیر قرار می‌گیرند، در دیاگرام شکل (۴) دسته‌بندی شده‌اند.

a. اثرات بر سامانه‌های فضایی

پس از آغاز عصر فعالیت‌های فضایی به‌ویژه کاوش‌های ماه و استقرار بلندمدت بشر در ایستگاه‌های فضایی نظیر ایستگاه میر[1] و ایستگاه فضایی بین‌المللی ISS، تاثیر تشعشعات فضایی بر سلامتی فضانوردان از مهم‌ترین دغدغه‌های متخصصان بوده، که به نوبه خود باعث پیشرفت دستورالعمل‌های پزشکی فضایی و به‌تبع آن سلامت غیرفضانوردان و افراد عادی شده است [۱۱]. علاوه بر این مساله و در مقیاس بسیار وسیع‌تر، عملکرد صحیح و طولانی مدت سامانه‌های گران‌قیمت فضایی، افزایش عمر عملیاتی ماهواره‌ها و کیفیت ارتباطات ماهواره‌ایی نیز از اهمیت بالایی برخوردارند. پرداختن به این موضوعات به نوبه خود موجب تهیه روال‌های مختلف طراحی این سامانه‌ها و ساخت قطعات مقاوم در برابر تشعشعات فضایی شده است [۱۲]. همچنین توسعه مدل‌هایی نظیر IRI[2] برای بهبود ارتباطات فضایی، مدل MSIS[3] برای مدل‌سازی اثر ترموسفر بر حرکت ماهواره‌ها، مدل TIE-GCM[4] برای شبیه‌سازی اثرات ترموسفر، یونسفر و مزوسفر بر عملکرد ماهواره‌ها در مدار نیز در این راستا انجام گرفته‌اند [۱۳].



شکل۴. مجموعه زیرساخت‌ها و سرویس‌های مهمی که بر اثر رخدادهای اقلیم فضا بیشتر دچار آسیب و خسارت می‌شوند

با وجود همه تمهیداتی که در طراحی سامانه‌های فضایی اتخاذ می‌شود، باید توجه داشت کماکان میزان آسیب‌پذیری این زیرساخت‌های گران‌قیمت و ارزشمند بسیار زیاد بوده و خسارات اقتصادی وارده به آنها در یک رخداد شدید می‌تواند فاجعه‌بار باشد. مطابق برآوردهای رایج، ارزش ماهواره‌های مدار ژئو بیش از ۲۰۰ میلیارد دلار و ارزش سالانه سرویس‌های آن بیش از ۶۰ میلیارد دلار است. از سوی دیگر، ارزش زیرساخت‌های ناوبری فضایی بیش از ۲۰ میلیارد دلار و ارزش بازار سرویس‌های آن ۱۶۰ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود. علاوه بر این دو حوزه مهم و ضروری از سرویس‌های ماهواره‌ای، باید به ارزش بسیار بالای زیرساخت‌های علمی و تحقیقاتی فضایی اشاره کرد. برای مثال هزینه ساخت ایستگاه فضایی ۱۵۰ میلیارد دلار (تا سال ۲۰۰۱)، هزینه ساخت

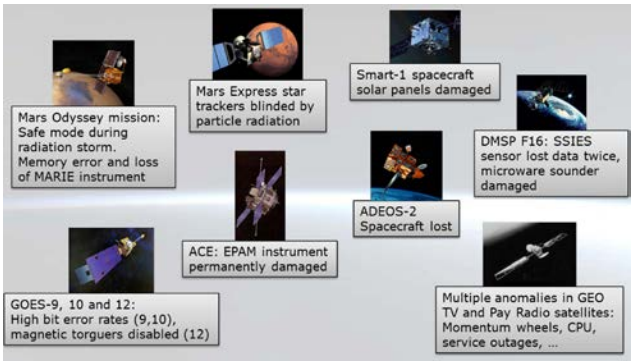
1 MIR
2 International Reference Ionosphere
3 Mass-Spectrometer-Incoherent-Scatter
4 Thermosphere Ionosphere Electrodynamics General Circulation Model

www.SID.ir

Archive of SID

تلسکوپ هابل ۱/۵ میلیارد دلار (سال ۱۹۹۰)، و از همه اینها پر سر و صداتر، هزینه تلسکوپ جیمز وب است که حدود ۱۰ میلیارد دلار برآورد شده است. بدیهی است که ارزش سرویس‌ها و خدماتی که این زیرساخت‌ها به بخش‌های مختلف علمی و پژوهشی در سراسر دنیا ارائه می‌دهند، به‌سادگی قابل ارزش‌گذاری نیست. به موارد فوق، همچنین باید ارزش زیرساخت‌های اینترنت فضایی و ارزش بازار سرویس‌های زودهنگام آنها را اضافه نمود که سر به میلیاردها دلار خواهد زد. بر این اساس، انتظار می‌رود که در صورت بروز رخدادهای شدید، سرمایه‌ها و زیرساخت‌های فضایی بزرگ و ارزشمند زیادی در معرض اختلال یا آسیب و از کارافتادگی باشند. برای مثال، اخیراً دغدغه‌های جدی در خصوص قطعی وسیع و طولانی مدت شبکه اینترنت جهانی، در صورت بروز یک توفان خورشیدی بزرگ به‌وجود آمده چراکه، نتیجه چنین بحرانی می‌تواند برای اقتصاد جهانی کمرشکن باشد [۱۴].

توجه به برخی موارد تاریخی خسارات ناشی از رخدادهای اقلیم فضا می‌تواند موید این برآوردها باشد. در ژانویه ۱۹۹۴ دو ماهواره مخابراتی کانادایی بر اثر توفان خورشیدی دچار اشکال شدند و ۶ ماه طول کشید تا به سرویس عادی برگردند. خسارت برگشت به وضعیت نرمال معادل ۵۰ تا ۷۰ میلیون دلار برآورد شد. در سال ۱۹۹۸، از دست رفتن ماهواره گلکسی ۴، بیش از ۲۵۰ میلیون دلار هزینه داشت. در پروژه‌های فضایی انجام شده در دهه ۲۰۰۰ میلادی متوسط میزان خسارت سالانه خروج از سرویس هر ماهواره مخابراتی ۲۳۰ هزار دلار برآورد شده بود. میانگین پرونده‌های بیمه به ازای هر ماهواره بیش از ۵/۷ میلیون دلار در سال بوده که حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد آنها متاثر از رخدادهای اقلیم فضا بوده است. در رخداد توفان خورشیدی شدید اکتبر تا نوامبر ۲۰۰۳ که به هالووین ۲۰۰۳ مشهور شد، بیش از ۸۰٪ ماموریت‌های فضایی تحت تاثیر قرار گرفتند و بیش از ۴۰٪ آنها ناگزیر همه یا برخی از تجهیزات خود را خاموش نموده و سرویس‌های مرتبط را قطع کردند و روال‌ها حفاظتی (از قبیل عملکرد در وضعیت ایمن) را در پیش گرفتند. از میان ۴۵۰ ماهواره فعال در مدار زمین، ۴۷ ماهواره مواردی از بروز اشکال را گزارش کردند (بیش از ۱۰٪ ماهواره‌های فعال). یک ماهواره با محموله علمی به‌طور کلی از بین رفت. چند تجهیز ماهواره‌های مختلف دچار آسیب یا از کارافتادگی دائمی شدند و سرویس‌های ۱۰ ماهواره هم برای بیش از یک روز از کار افتادند (شکل ۵) [۱۵].



شکل۵: برخی از خسارت‌های توفان هالووین ۲۰۰۳ به سامانه‌های فضایی [۱۶]

البته احتمال می‌رود که آسیب‌ها و رخدادهای فاجعه‌بار بیشتری برای سامانه‌های فضایی پیش آمده باشد اما به‌دلایل اقتصادی و امنیتی، به‌طور عمومی اعلام نشده و مخفی مانده باشند. بنابراین، هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم اقتصادی ناشی از خرابی‌های مرتبط با اقلیم فضا و تشعشعات فضایی باید بر اساس اطلاعات عمومی قابل دسترس، مثلا در رابطه با طول عمر مفید سرویس‌های خروجی ماهواره یا هزینه‌های جایگزینی ماهواره‌ای که کاملاً از بین رفته، قابل شناسایی باشد. در یک نگاه کلی و بر اساس برآورد هزینه‌ها به‌روش از جزییات- به-کلیات[1] و با مدل‌سازی اثرات مختلفی که بر سامانه‌های ماهواره‌ای اثر می‌گذارند، برآورد می‌شود که اثرات یک رخداد احتمالی اقلیم فضا مشابه با توفان فوق شدید کارینگتون-۱۸۵۹ بر اقتصاد حوزه ماهواره بیش از ۷۰ میلیارد دلار باشد [۲].

b. اثرات بر زیرساخت‌های زمینی

به‌دلیل ارزش بالاتر زیرساخت‌ها و سرویس‌ها در بخش زمینی و نقش حیاتی آن‌ها در تمدن بشر، آثار رخداد توفان‌های خورشیدی به‌مراتب مخرب‌تر و دامنه خسارات و زیان‌های اقتصادی می‌تواند شدیدتر باشد. به‌طور مثال، اگر بازار چند صد میلیارد دلاری سرویس‌های مخابراتی یا انتقال برق را در نظر بگیریم، این نکته به خوبی مشخص خواهد بود. در عین حال، با

1 Bottom-up

www.SID.ir

Archive of SID

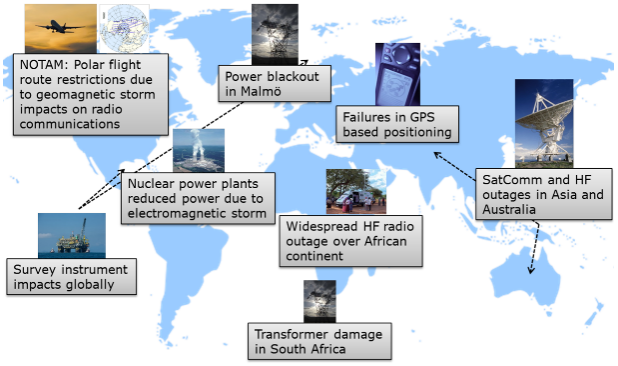
مدرنیزه کردن زیرساخت‌هایی چون شبکه‌های انتقال انرژی، خطوط انتقال نفت و گاز، یا تغییر نسل شبکه‌های تلفن همراه، ممکن است ریسک و میزان آسیب‌پذیری آنها در برابر رخدادهای اقلیم فضا بیشتر شود. به‌همین دلیل، امروزه و در عصر دیجیتال بخش مهمی از مطالعات حوزه اقلیم فضا به بررسی تاثیر این رخدادها بر زیرساخت‌های زمینی معطوف شده و در این میان بررسی، ارزیابی، پیش‌بینی و مواجهه با اثرات این رخدادها بر زیرساخت‌های صنعتی، اقتصادی و اجتماعی از اولویت بالایی برخوردار است [۱۷].

در حوزه شبکه‌های انتقال برق که ارزش بازار آن بیش از ۴۵۰ میلیارد دلار است، نگرانی‌های جدی در سراسر دنیا وجود دارد. آثار اولین رخداد مهم ناشی از توفان‌های خورشیدی بر شبکه‌های انتقال برق در سال ۱۹۴۰ در نیوانگلند، نیویورک، پنسیلوانیا، مینوستا، اونتاریو و کبک مشاهده شد. اتفاقات مهم دیگری هم در فوریه ۱۹۵۸ و اگوست ۱۹۷۲ گزارش شدند.

یکی از خسارت‌بارترین نمونه‌ها، قطع سراسری برق در مارس ۱۹۸۹ در ایالت کبک بود که معادل ۱۳/۲ میلیون دلار خسارت به‌بار آورد که بیش از ۶/۵ میلیون دلار آن مستقیماً ناشی از خسارت به تجهیزات شبکه به‌ویژه ترانسفورماتورهای قدرت بود. در رخداد سال ۲۰۰۰، شدت جریان القا شده ژئومغناطیسی GIC [1] بر روی خطوط انتقال در سوئد به بیش از ۳۰۰ آمپر رسید. در هالووین ۲۰۰۳، جمعیتی بالغ بر ۵۰۰۰۰ نفر خاموشی بیش از یک ساعت را در سرمای شدید این کشور تجربه کردند. در همان زمان ۱۲ ترانسفورماتور و بسیاری از تجهیزات شرکت Eskom در آفریقای جنوبی آسیب جدی دیدند. همچنین، در این رخدادها که بیش از سه روز به طول انجامید، مجموعه گسترده‌ای از زیرساخت‌های زمینی شامل آنتن‌های مخابراتی، سامانه‌های ناوبری، نیروگاه‌های اتمی و غیراتمی، ایستگاه‌های رادیویی و خطوط پروازی تحت تاثیر قرارگرفته و عملکرد آنها مختل شد.

شکل (۶) به خوبی نشان می‌دهد که دامنه تاثیرات چنین رخدادهایی محدود به ناحیه جغرافیایی خاصی نیست و تقریباً به‌صورت فراگیر سراسر کره زمین را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۱۶].

طبق برآورد اداره انرژی فدرال سوییس یک قطعی گسترده برق در این کشور می‌تواند بین ۲ تا ۴ میلیارد فرانک خسارت به بار آورد. یک خاموشی سراسری، مشابه مورد کبک ۱۹۸۹، ممکن است بین ۳ تا ۶ میلیارد دلار خسارات مستقیم و غیرمستقیم در کانادا ایجاد کند. بر اساس گزارش تحلیلی ۲۰۰۴ آکادمی علوم آمریکا، تکرار رخداد می ۱۹۲۱ می‌تواند باعث بی‌برقی ۱۳۰ میلیون نفر برای مدت طولانی شده و ۲ تریلیون دلار هزینه دربر داشته باشد و ده سال برای جبران خسارات آن لازم خواهد بود. بر اساس گزارش سال ۲۰۱۳ موسسه مطالعات جوی و محیط زیستی AER [2] تکرار رخداد کرینگتون می‌تواند ۲۰ تا ۴۰ میلیون نفر را برای بیش از دو هفته تا چندین ماه از دسترسی به برق محروم کند و بین ۰/۶ تا ۲/۶ تریلیون دلار هزینه داشته باشد[۶].



شکل۶: برخی از اثرات رخداد هالووین ۲۰۰۳ بر زیرساخت‌های زمینی [۱۶]

در بخش خطوط هوایی، هزینه متوسط تغییر خطوط پروازی (نزدیک به قطب) هر پرواز بین ۱۰ تا ۱۰۰ هزار دلار برآورد می‌شود که عمدتاً ناشی از افزایش مصرف سوخت و تغییر تعرفه مسیرهای پروازی است. میزان افزایش هزینه سوخت مصرفی، و نشست و برخاست‌های اضافی معادل ۱۰۰۰۰ دلار به‌ازای هر پرواز در هر رخداد برآورد شده است. با فرض اینکه تعداد متوسط پروازهای سالانه ۱۵۰۰۰ مورد باشد، هزینه تنها ده درصد تغییر پروازها به حدود ۱۵ تا ۱۵۰ میلیون دلار سالانه بالغ خواهد شد. به‌عنوان یک مورد تاریخی در ژانویه ۲۰۰۵، بیش از ۲۶ خط پروازی یونایتد ایرلاین [3] به مدت چندین روز و به‌دلیل رخداد توفان‌های شدید ناچار به تغییر مسیر شدند. به این موارد باید هزینه‌ها و ریسک سلامت ناشی از اثرات فیزیولوژیکی بر کادر پرواز و مسافران کثیرالسفر را نیز افزود [۱۸].

1 Geomagnetically Induced Current
2 Atmospheric and Environmental Research
3 United Airline

www.SID.ir

Archive of SID

بدیهی است که رخداد این پدیده‌ها امری اجتناب‌ناپذیر و فراتر از اراده بشر است، اما اگر بتوان زمان رخدادها را با دقت مناسب پیش‌بینی کرد، می‌توان تا حد زیادی از اثرات مخرب آنها کاست. طبق برآورد آژانس فضایی اروپا[1]، ESA بهبود در پیش‌بینی رخدادهای شدید اقلیم فضا از طریق توسعه و ایجاد سامانه‌های پایشی جدید، تا سال ۲۰۳۲ می‌تواند مطابق جدول (۱)، بیش از ۳۰ میلیارد یورو از خسارات در حوزه‌های صنعتی و اقتصادی بکاهد. برای شناخت بهتر این پدیده‌ها و افزایش قابلیت پیش‌بینی و آمادگی بهتر برای مقابله با این رخدادها و کاهش اثرات خسارت‌بار آنها، توسعه سامانه‌های پایش زمینی و فضایی یک ضرورت بنیادین است.

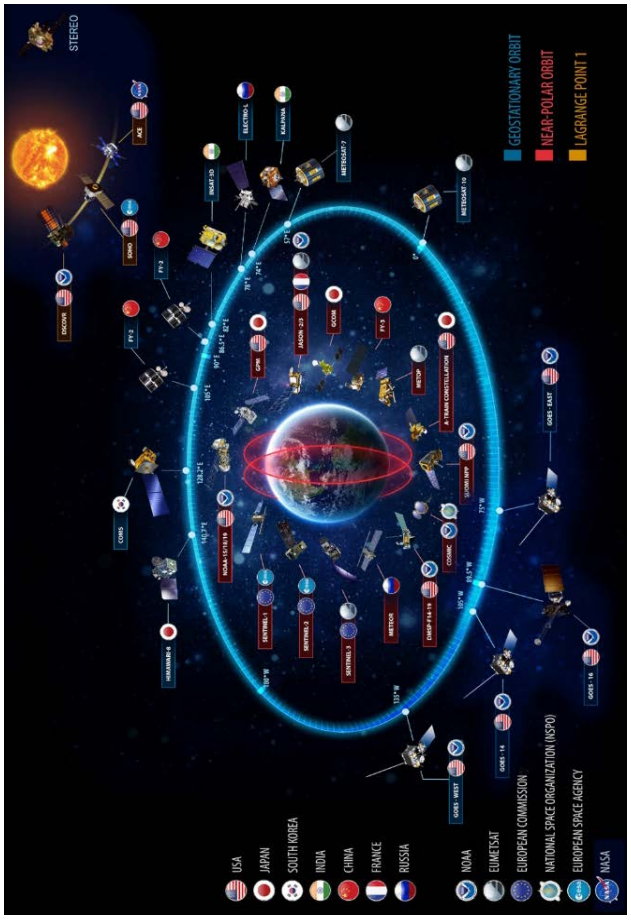
جدول ۱. میزان صرفه‌جویی اقتصادی در اروپا، در صورت پیش‌بینی به‌موقع رخدادهای اقلیم فضا (برحسب میلیون یورو)

حوزه	تا سال ۲۰۲۴	تا سال ۲۰۳۲
طراحی فضاپیماها و عملکرد آنها	۱۱۲۳/۲	۱۳۸۹/۴
عملیات پرتاب	۰/۰۳۷	۰/۰۵۱
سیستم‌های هوایی	۱۱۱۳۹/۸	۱۸۷۰۱/۵
بهره‌برداری از منابع	۲۳۴/۹	۲۷۹/۵
عملکرد سیستم‌های توزیع برق	۶۳۶۴	۷۱۹۵/۲
سیستم‌های حمل و نقل	۱۷۸۳	۱۹۹۲/۸
مجموع	**۲۰۶۴۴/۹**	**۲۹۵۵۸/۴**

بدیهی است که تنها درصد اندکی از هزینه‌های صرفه‌جویی شده مرتبط با این مساله، می‌تواند بودجه کافی برای ماموریت‌های تحقیقاتی آتی در حوزه اقلیم فضا را تامین نموده و دستاوردهای علمی، فنی و کاربردی بیشتری را به ارمغان بیاورد [۱۹].

٤- سامانه‌های پایش اقلیم فضا در دنیا

کشورهای مختلفی در دنیا سامانه‌های زمینی و فضایی برای بررسی و پایش وضعیت تشعشعات فضایی و اثرات اقلیم فضا ایجاد کرده‌اند. شکل (۷)، ابرسامانه فضایی برای پایش رخدادهای اقلیم فضا را نشان می‌دهد [۲۰]. همان‌طور که دیده می شود، کشورهای پیشرو در فناوری فضایی همگی در ایجاد این ابرسامانه نقش‌آفرینی کرده‌اند. اما مهم‌ترین بازیگران این عرصه، سازمان ملی هوانوردی و فضانوردی آمریکا[2] NASA، سازمان ملی اقیانوسی و جوی[3]NOAA و آژانس فضایی اروپا هستند که علاوه بر ماهواره‌ها و سیستم‌های اختصاصی، فعالیت‌های مشترکی را برای توسعه سیستم‌های فضاپایه برای پایشی اقلیم فضا در دست انجام دارند.



شکل ۷. ابرسامانه فضایی پایش اقلیم فضا، تنوع ماهواره ها، کشورها و سازمان های مشارکت کننده در ساختار آن [۲۰]

این دو سازمان اخیراً در یک همکاری مشترک با ارسال کاوشگر مدارگرد خورشیدی[4] به سوی خورشید گام مهم و تازه‌ای در راه ارتقا و تکمیل سامانه‌های پایش اقلیم فضا برداشته‌اند. آژانس فضایی اروپا علاوه بر راه‌اندازی منظومه[5] D3S توسط ماهواره‌های کوچک در مدار LEO برای بررسی تاثیرات رخدادها در مدارهای

1 European Space Agency
2 National Aeronautics and Space Administration
3 National Oceanic and Atmospheric Administration

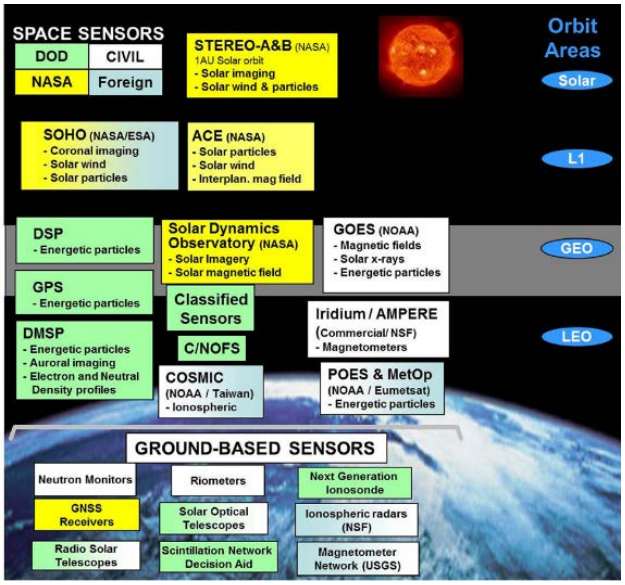
4 Solar Orbiter
5 Distributed Space Weather Sensor System

www.SID.ir

Archive of SID

اطراف زمین، در همکاری با ناسا دو ماهواره در نقاط لاگرانژی L1 وL5 برای بهبود پیش‌بینی‌ها مستقر خواهد کرد. این دو منظومه بخش اصلی همان سامانه‌های پایشی جدیدی هستند که مدنظر ESA هستند و قرار است صرفه‌جویی اقتصادی جدول (۱) را محقق کنند [۲۲][۲۱].

شکل (۸)، نمایی از سامانه‌هایی را نشان می‌دهد که ایالات متحده آمریکا در سطوح ملی و بین‌المللی برای پایش و پیش‌بینی رخدادهای اقلیم فضا از آنها استفاده می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود این سامانه‌ها هم زمین‌پایه و هم فضاپایه هستند. سامانه‌های فضایی مذکور در گستره‌ای از مدارهای LEO تا GEO و نقاط لاگرانژی فعالند.

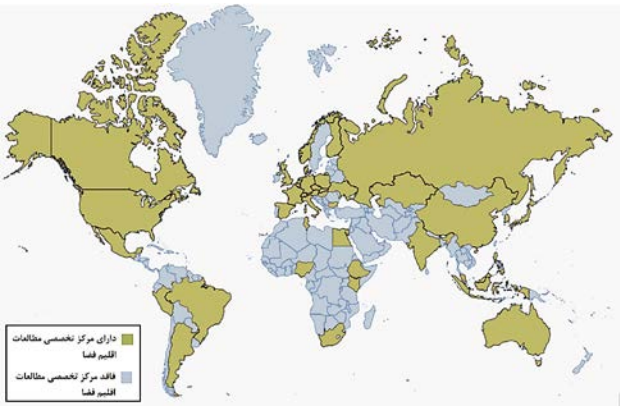


شکل ۸: مجموعه سامانه‌های زمینی و فضایی برای پایش رخدادهای اقلیم فضا که توسط ایالات متحده آمریکا مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۳]

در سامانه‌های آژانس فضایی اروپا نیز از ابزارهای اپتیکی نظیر کروناگراف، دوربین عکسبرداری از هلیوسفر، مگنتوگراف، دوربین عکسبرداری از طیف ماورابنفش فوق شدید، پایشگر طیف ایکس، مگنتومیتر، آنالایزر پلاسما، اسپکترومتر ذرات با انرژی متوسط/ بالا و پایشگر رادیویی استفاده می‌شود. در کنار این ابرسامانه فضایی، مجموعه گسترده‌ای از مراکز زمینی مجهز به بیش از هزار سنجنده گوناگون در بیش از صد کشور جهان، در نقاط مختلف کره زمین، مستقرند و یک ابرسامانه زمینی برای پایش پدیده‌های اقلیم فضا را به‌وجود آورده‌اند (شکل ۹) [۲۵][۲۴].

شکل ۹: ابرسامانه زمینی پایش رخدادهای اقلیم فضا تحت نظر ISWI متشکل از بیش از هزار سنجنده در بیش از ۱۰۰ کشور جهان (نقشه از http://www.iswi-secretariat.org) [۲۶]

سایر قدرت‌های فضایی نظیر ژاپن، چین، هند، کره جنوبی و اغلب کشورهای اروپایی نیز سامانه‌های پایش ی زمینی- فض ایی مختلفی دارند. علاوه بر کشورهای پیشرو در فناوری فضایی، امروزه کشورهای تازه وارد به حوزه فضایی نظیر نیجریه، پاکستان، کلمبیا و ... نیز با ایجاد مراکز و سازمان‌های ملی در حال پیوستن به شبکه‌های جهانی پایش اقلیم فضا هستند تا بتوانند از داده‌های به اشتراک گذاشته شده، در راستای توسعه پایدار فعالیت‌های فضایی و ایمن‌سازی زیرساخت‌های زمینی کشورشان استفاده کنند [۱۹]. تمایل به همکاری‌های بین‌المللی و شبکه‌سازی این سیستم‌ها روزبه‌روز بیشتر می‌شود و مراکز فعال این کشورها با همدیگر مشارکت‌های دامنه‌دار و وسیعی دارند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: کشورهای دارای مرکز تحقیقاتی فعال در زمینه اقلیم فضا

www.SID.ir

Archive of SID

۵- ضرورت ایجاد مرکز ملی مطالعات اقلیم فضا

همان‌طور که اشاره شد، تنوع و شدت پدیده‌های اقلیم فضا و دامنه اثرات آنها بر روی سیستم‌های زمین و فضایی به‌قدری گسترده و جهان شمول است که تنها با ایجاد سامانه‌های مختلف پایش زمینی و فضایی، و شبکه‌سازی آنها با هم می‌توان امیدوار بود که پیش‌بینی‌های دقیق و معتبری انجام گیرد. هر قدر تبادل داده و اطلاعات بین این سیستم‌ها دقیق‌تر و نظام‌مندتر باشد، دقت پیش‌بینی‌ها و اعلان خطرها بهبود یافته و از بروز خسارت‌های کلان جلوگیری می‌شود. چنین سازوکاری می‌تواند به توسعه یک زنجیره‌ی ارزش طولانی از دانش و پژوهش تا کاربرد و تجاری‌سازی منجر شود که در نهایت فعالیت‌های این عرصه را هدفمندتر و قوی‌تر خواهد کرد.

باید توجه داشت که پدیده‌های اقلیم فضا در عین حال که جهانی هستند، اما برخی از اثرات آنها برحسب نواحی جغرافیایی شدت یا تاثیرات متفاوتی دارند. این امر ایجاب می‌کند که کشورها علاوه بر استفاده از داده‌ها و اطلاعات بین‌المللی، سامانه‌های ملی خود را ایجاد و تقویت کنند، که در این صورت به ایجاد شبکه‌های بین‌المللی گسترده‌تر با داده‌های کامل‌تر و پیش‌بینی‌های دقیق‌تر منجر خواهد شد. شکل (۱۱) مجموعه بازیگران بالقوه این حوزه در ایران را نشان می‌دهد که می‌توانند در زمینه‌های مختلف اقلیم فضا با هم همکاری داشته باشند. علاوه بر این، در هر یک از زمینه‌ها، تعامل و تبادل اطلاعات با سازمان‌های بین‌المللی (در بخش پایینی شکل) نیز باید در دستور کار قرار داشته باشد.

لازم به ذکر است که بهره‌برداران بخش‌های دولتی و خصوصی بسیار مفصل‌تر از آن چیزی است که در دیاگرام این شکل دیده می‌شود. برای مثال، بخش‌های دیگر وزارت راه نظیر زیرساخت‌های ریلی، یا شرکت‌های انتقال نفت و گاز نیز می‌توانند از جمله بهره‌برداران یک سامانه اطلاعاتی جامع باشند که مشابه پیش‌بینی‌های روزانه آب و هوا، وضعیت و احتمال بروز رخدادهای اقلیم فضا را به‌طور مستمر در اختیار همگان قراردهد.

سازمان‌های بین‌المللی که همکاری با آنها در این چارچوب مدنظر است، دست‌کم شامل کمیته استفاده صلح‌آمیز از فضای ماوراء جو سازمان ملل متحد UNCOPUOS[1]، سازمان هواشناسی جهانی WMO[2]، سازمان همکاری‌های فضایی آسیا-اقیانوسیه APSCO[3]، سازمان بین‌المللی هوانوردی غیرنظامی ICAO[4]، تیم‌های بین‌المللی اقدام اقلیم فضا ISWAT[5] و ... هستند.

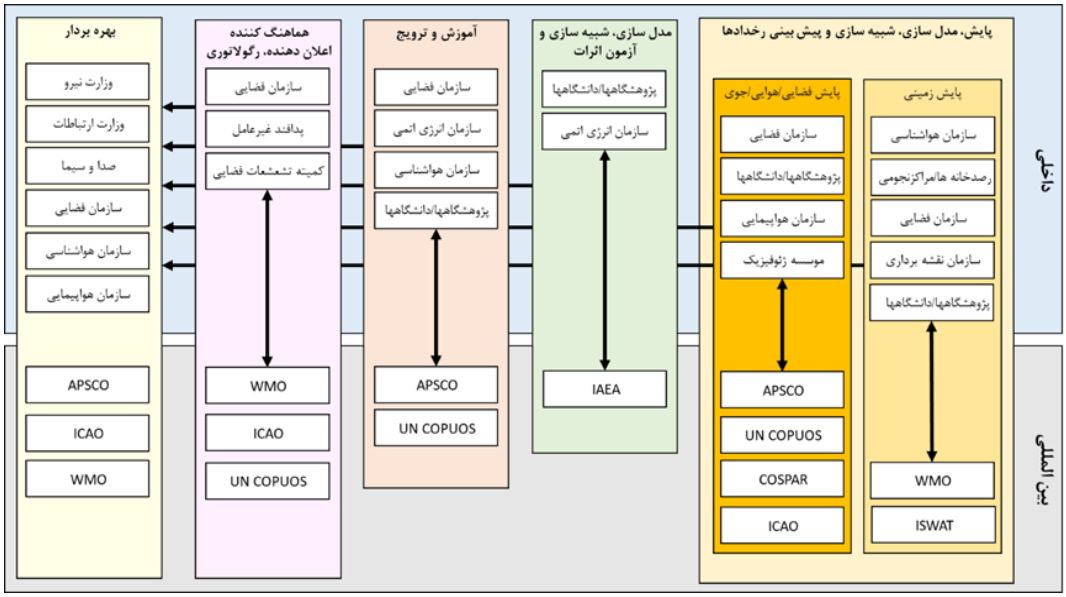
به دلیل تنوع موضوعات اقلیم فضا، گستردگی زمینه‌های علمی-تخصصی مرتبط، دامنه وسیع تاثیرات، و گوناگونی شیوه‌ها و سازوکارهای اثرگذاری آن بر حوزه‌های مختلف اقتصادی-اجتماعی بشر، چارچوب مطالعات و اقدامات تخصصی در این بخش بسیار وسیع و گسترده است. بر این اساس، به نظر می‌رسد که برای هم‌راستایی این فعالیت‌ها و مدیریت تعاملات بین بازیگران و ذی‌نفعان، وجود یک مرکز تخصصی پایش رخدادهای اقلیم فضا ضروری است. اهم فعالیت‌های این مرکز می‌تواند به شرح زیر باشد:

- انجام مطالعات و بسترسازی برای تدوین چارچوب سازمانی/ قانونی مورد تایید در کشور
- تدوین نقشه راه و راهبرد ملی مقابله با تشعشعات فضایی ناشی از توفان‌های خورشیدی و سایر پدیده‌های اقلیم فضا
- تدوین استانداردها و دستورالعمل‌های لازم برای پایش، تحلیل، مدل‌سازی، پیش‌بینی و اعلان خطر
- ثبت، آموزش و به‌کارگیری تجارب مرتبط در حوزه‌های فضایی و زمینی
- توسعه کاربردها و دستاوردها و تجاری‌سازی آنها
- به اشتراک‌گذاری اطلاعات مرتبط و اتصال به پلتفرم تبادل داده‌ها در سطح بین‌المللی
- جلب همکاری‌های بین‌المللی با رویکرد دستیابی به توسعه پایدار در حوزه کاربردهای فضایی
- ایجاد هماهنگی بهتر بین نهادهای مرتبط با دیسیپلین‌های مهندسی فضایی، مهندسی هسته‌ای، فیزیک فضا، فیزیک خورشید و... به منظور توسعه کاربردهای آنها در حوزه شناخت و آمادگی در برابر رخدادهای اقلیم فضا

1 United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space
2 World Meteorological Organization
3 Asia-Pacific Space Cooperation organization
4 International Civil Aviation Organization
5 International Space Weather Action Teams

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۱: ساختار تعاملات بین نهادها و بازیگران مختلف در عرصه اقلیم فضا و برخی از بهره‌برداران آن

این اقدامات در چارچوب‌ها و سطوح مختلفی قابل انجام است. مطابق شکل (۱۲)، که ساختار و اقدامات پیشنهادی سازمان هواشناسی جهانی در حوزه اقلیم فضا را نشان می‌دهد، سه سطح اصلی برای این اقدامات می‌تواند در نظر گرفته شود که عبارتند از سطح استراتژیک، سطح کاربرد (سرویس‌ها/ کاربران) و سطح سیستم. در سطح سیستم، عمده فعالیت‌ها عبارتند از توسعه علوم و دانش‌های مرتبط، مدیریت داده‌ها، و نظارت و پایش وضعیت فعالیت‌ها. در سطح کاربرد، برآورده نمودن نیازهای کاربران، توسعه راهکارها و بهره‌گیری از تجارب موفق قبلی، و همچنین آموزش و ظرفیت‌سازی از مهم‌ترین اقداماتی است که باید انجام شود. در بالاترین سطح یعنی سطح استراتژیک موضوعات راهبردی و مسائلی چون وضع مقررات، رگولاتوری، ایجاد تعامل و ارتباط بین نهادهای مرتبط داخلی- خارجی و توجه به چارچوب‌های حقوقی، باید در دستورکار چنین مرکزی قرارگیرد.

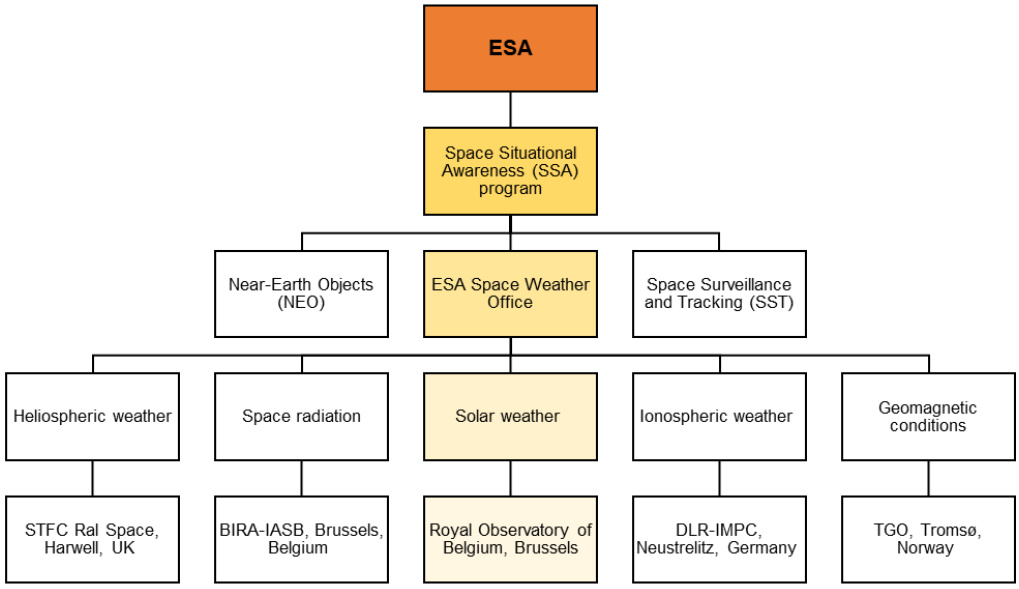
با توجه به تعدد سازمان‌های ذی‌ربط و ذی‌نفع از یک‌سو و گستردگی حوزه فعالیت‌های احتمالی مرکز، دغدغه‌ای که برای متخصصان حوزه اقلیم فضا مطرح خواهد بود شاید این باشد که در صورت ایجاد چنین مرکزی، باید تحت نظارت یا مدیریت چه نهاد و سازمانی باشد؟ برای پاسخ به این سوال، ملاحظه وضعیت ایجاد مراکز مشابه در کشورهای مختلف دنیا می‌تواند معیار و مبنای مناسبی برای اتخاذ تصمیم در این راستا باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱۲: سطوح و اهم اقدامات قابل انجام در مرکز پایش اقلیم فضا

به اختصار می‌توان گفت که در اتحادیه اروپا این نهادها عمدتاً زیر نظر ESA و به‌عنوان بخشی از برنامه اطلاع از موقعیت (و وضعیت اجرام) فضایی[1] SSA محسوب می‌شوند (شکل ۱۳) که متولی اصلی و تخصصی مطالعات اقلیم فضا رصدخانه سلطنتی بلژیک است. علاوه بر این زیرساخت‌های مشترک، در هر یکی از کشورهای عضو مراکز مربوط تحت راهبری و نظارت آژانس فضایی ملی آن کشور فعالیت دارد.

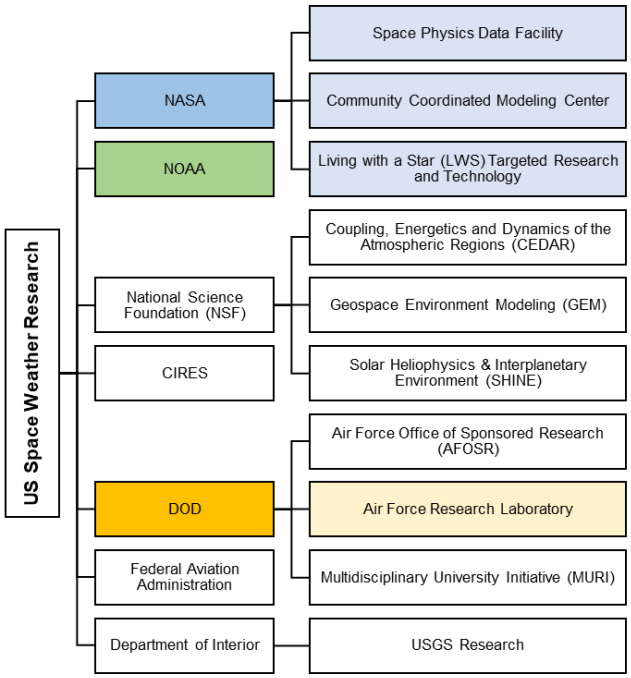


شکل ۱۳: نهادهای مرتبط با مطالعات اقلیم فضا در آژانس فضایی اروپا

1 Space Situational Awareness (SSA)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۴: نهادهای مرتبط با مطالعات اقلیم فضا در ایالات متحده آمریکا

مطابق شکل (۱۴)، در ایالات متحده مراکز مطالعات اقلیم فضا تحت نظر چند نهاد مهم شامل NASA, NOAA و DOD فعالیت می‌کنند. با این وصف، محوریت فعالیت‌های غیرنظامی و تعاملات بین‌المللی برعهده NASA است.

موارد مشابهی در خصوص ساختار مراکز اقلیم فضا در کشورهای روسیه، چین و ژاپن نیز قابل مشاهده است. بر این اساس، انتظار می‌رود که تشکیل چنین مرکزی در کشور ما نیز زیرنظر و تحت نظارت سازمان فضایی ایران یا بازوی تحقیقاتی آن یعنی پژوهشگاه فضایی ایران باشد. هرچند اعلام نظر قطعی در این خصوص تابع ملاحظات و عوامل متعددی دیگری (از جمله راهبردهای اعلام شده توسط شورای عالی فضایی و سایر نهادهای بالادستی) بوده و اتخاذ تصمیم در این رابطه مستلزم مطالعات دقیق‌تر و جامع‌تر است.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، اهمیت روزافزون انجام مطالعات و تحقیقات در رابطه با شناخت، پایش، پیش‌بینی، تهدیدات و خسارات ناشی از پدیده‌های اقلیم فضا مورد بررسی قرارگرفت و برخی از سامانه‌های مهم پایشی و فعالیت‌های مراکز پیشرو دنیا در این زمینه معرفی شدند. سپس، ضرورت ایجاد یک مرکز ملی برای همگرایی و تقویت فعالیت‌ها در این حوزه مورد بحث و بررسی قرار گرفت. همچنین، ساختار تعاملات بین بازیگران داخلی، تعامل با سازمان‌های بین‌المللی مرتبط، و برخی از وظایف آن به اختصار مطرح شد. همچنین، در رابطه با جایگاه این مرکز در ساختار فضایی کشور و متولی احتمالی آن نکاتی به‌صورت مقایسه با سایر کشورها و آژانس‌های فضایی دنیا ارائه شد.

بر اساس مطالعات انجام شده می‌توان گفت که ایجاد چنین مرکزی موجب تقویت و انسجام فعالیت‌های ملی و بین‌المللی در زمینه مطالعه اثرات تشعشعات فضایی، توفان‌های خورشیدی و سایر پدیده‌های مربوط به اقلیم فضا می‌شود و انتظار می‌رود که ارتباطات بهتر و موثرتری را در میان بازیگران این حوزه برقرار سازد. در عین حال، از یک سو به‌دلیل اهمیت توسعه فعالیت‌های فضایی در کشور و از سوی دیگر نظر به تهدیداتی که در صورت بروز رخدادهای شدید اقلیم فضا می‌تواند متوجه زیرساخت‌های حیاتی کشور (اعم از زمینی و فضایی) شود، تاسیس و راه اندازی این مرکز باید مورد توجه و حمایت متولیان بخش فضایی کشور باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

تشکر و قدردانی

اد

مراجع

[1] C. Grupen, *Introduction to Radiation Protection*, vol. 51, no. 5. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010.

[2] J. P. Eastwood *et al.*, "The Economic Impact of Space Weather: Where Do We Stand?," *Risk Anal.*, vol. 37, no. 2, pp. 206–218, 2017, doi: 10.1111/risa.12765.

[3] J. C. Green, J. Likar, and Y. Shprits, "Impact of space weather on the satellite industry," *Sp. Weather*, vol. 15, no. 6, pp. 804–818, 2017, doi: 10.1002/2017SW001646.

[4] M. Ishii *et al.*, "Space weather benchmarks on Japanese society," *Earth, Planets Sp.*, vol. 73, no. 1, 2021, doi: 10.1186/s40623-021-01420-5.

[5] C. J. Schrijver, "Socio-Economic Hazards and Impacts of Space Weather: The Important Range between Mild and Extreme," *Sp. Weather*, vol. 13, no. 9, pp. 524–528, 2015, doi: 10.1002/2015SW001252.

[6] I. Report, *Social and Economic Impacts of Space Weather in the United States*, no. September. 2017.

[7] N. Alipour, F. Mohammadi, and H. Safari, "Prediction of Flares within 10 Days before They Occur on the Sun," *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, vol. 243, no. 2, p. 20, 2019, doi: 10.3847/1538-4365/ab289b.

[8] N. Alipour, H. Safari, and D. E. Innes, "An automatic detection method for extreme-ultraviolet dimmings associated with small-scale eruption," *Astrophys. J.*, vol. 746, no. 1, pp. 6–13, 2012, doi: 10.1088/0004-637X/746/1/12.

[9] A. Raboonik, H. Safari, N. Alipour, and M. S. Wheatland, "Prediction of Solar Flares Using Unique Signatures of Magnetic Field Images," *Astrophys. J.*, vol. 834, no. 1, p. 11, 2016, doi: 10.3847/1538-4357/834/1/11.

[10] N. S. W. P. Center., "Time Scale of Solar Effects." https://lasp.colorado.edu/home/wp-content/uploads/2011/08/Timescale.pdf.

[11] E. Seedhouse, *Space Radiation and Astronaut Safety*. Cham: Springer International Publishing, 2018.

[12] E. Daly *et al.*, "Standards for space radiation environments and effects," *Eur. Sp. Agency, (Special Publ. ESA SP*, vol. 2003-Septe, no. January, pp. 175–179, 2003.

[13] R. G. Roble and E. C. Ridley, "A thermosphere-ionosphere-mesosphere-electrodynamics general circulation model (time-GCM): Equinox solar cycle," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 21, no. 6, pp. 417–420, 1994.

[14] S. A. Jyothi, "Solar superstorms: Planning for an internet apocalypse," in *SIGCOMM 2021 - Proceedings of the ACM SIGCOMM 2021 Conference*, Aug. 2021, pp. 692–704, doi: 10.1145/3452296.3472916.

[15] D. C. Ferguson, S. P. Worden, and D. E. Hastings, "The Space Weather Threat to Situational Awareness, Communications, and Positioning Systems," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 43, no. 9, pp. 3086–3098, 2015, doi: 10.1109/TPS.2015.2412775.

[16] J. P. Luntama and S. W. Manager, "ESA Space Weather Strategy in the International Context."

[17] C. J. Schrijver *et al.*, "Understanding space weather to shield society: A global road map for 2015-2025 commissioned by COSPAR and ILWS," *Adv. Sp. Res.*, vol. 55, no. 12, pp. 2745–2807, 2015, doi: 10.1016/j.asr.2015.03.023.

[18] S. A. M. Seminar, S. W. By, and P. Murphy, "ICAO Space Weather Center Provisions," 2018.

[19] M. Aliberti, "European Space Weather Services : Status and Prospects," no. February, 2019.

[20] N. O. and A. A. NOAA, "Strategic Plan. NOAA's National Environmental Satellite, Data, and Information Service," 2016.

[21] S. Kraft, A. Lupi, and J. P. Luntama, "ESA's distributed space weather sensor system (D3S) utilizing hosted payloads for operational space weather monitoring," *Acta Astronaut.*, vol. 156, pp. 157–161, 2019, doi: 10.1016/j.actaastro.2018.01.020.

www.SID.ir

Archive of SID

[22]D. ED *et al.*, “Services for Space Mission Support Within The ESA Space Situational Awareness Space Weather Service Network,” *J. Aeronaut. Aerosp. Eng.*, vol. 06, no. 01, pp. 1–11, 2017, doi: 10.4172/2168-9792.1000180.

[23]N. Space, W. Program, and T. Policy, “REPORT ON SPACE WEATHER OBSERVING SYSTEMS : CURRENT CAPABILITIES AND,” 2013.

[24]I. Space, W. Initiative, and S. Gadimova, “The role of the Office for Outer Space Affairs in support of the International Space Weather Initiative,” no. May, 2019.

[25]C. Amory-Mazaudier *et al.*, “Development of research capacities in space weather: A successful international cooperation,” *J. Sp. Weather Sp. Clim.*, vol. 11, no. March, 2021, doi: 10.1051/swsc/2021006.

[26] ISWI, “iswi-secretariat,” 2022. http://www.iswi-secretariat.org.

COPYRIGHTS

© 2022 by the authors. Licensee Iranian Space Research Center of Iran. 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) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

www.SID.ir