JSST
VOL.16 / ISSUE 3/ FALL 2023/ (NO. 57)
Print ISSN: 2008-4560 / Online ISSN: 2423-4516
DOI:10.30699/JSST.2023.1431
Pages: 51-68 / Research Article / Submit: 04 Feb 2023 / Accepted: 11 June 2023

Study of Space Weather and its Risks on Human Biologic Processes

Aida Kazemi Hokmabad[1], Seyede Elahe Khatoon abadi Kalali[2], Amir Reza Kosari[3]*, Ehsan Kosari[4], and Vahid Bohlouri[5]

1,2. MSc., Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran
3. Associate Professor, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran
4. M.Sc., Satellite Research Institute (SRI) of Iranian Space Research Center (ISRC)
5. Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Technical and Vocational University, Tehran, Iran

***Corresponding Author's E-mail: kosari_a@ut.ac.ir**

ABSTRACT

This paper investigates solar activities and its phenomena from the perspective of risks to the earth's environment, human health, and space weather risks to space systems. In this article, in addition to a brief explanation about the physics of the sun and space weather phenomena, the effects of these phenomena on human health have been investigated. Moreover, the results of international researches have been studied and analyzed to determine the relationship between heart diseases, brain diseases, cancer, birth rates, health of astronauts, and animal life with space weather phenomena. The results of this article help to predict these events during the occurrence of solar events and by taking the correct actions in addition to preserving biological health, possible damages can also be minimized.

Keywords: Space weather, Sun, Human health, Environment, Planet Earth

1. Introduction

Nowadays, world is increasingly dependent on knowledge and technology, and most technologies are also affected by the environmental conditions caused by space and their changes. The "space weather" is a phrase used to describe changes in the sun, solar wind, ionosphere, magnetosphere, and thermosphere layers, which can affect the performance and reliability of various space-based and ground-based engineering systems and threaten biological health and safety. Space weather events are very important at the global level, for this reason, many studies and researches have been done in this field.

In Unger (2019) [1], research related to physical activity levels and human medical data has been reviewed, which shows that changes in the geomagnetic field, along with an increase in the activity level of cosmic rays, can have direct or indirect effects on human health and physiology. In Podolská (2021) [2] they analyzed the statistical analysis of the relationship between special solar events and the number of daily deaths in the Czech Republic.

In addition, several researches. have been done in Iran for space weather studies. Shekoofa and Bagheroskouei (2020) [3] have addressed the issue of space weather and its challenges and importance at the international level and a proposed roadmap for activities in this field. The necessity of conducting studies, monitoring and providing services related to space weather events and creating a national center to achieve these goals is discussed in [4]. In the article [5], in addition to studying and investigating the phenomena of space weather, its effects on human heart and brain health were also investigated. Reference [6], by studying the available researches and reports in the field of space weather, addressed the destructive effects of space weather on a number of society's infrastructures and examined the economic and social effects caused by space weather events. Therefore, it seems necessary to carry out a comprehensive investigation of space weather hazards for space-based and ground-based systems, as well as biological hazards.

COPYRIGHTS
©2023 by the authors. Published by Aerospace Research Institute. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

How to Cite this article:
A. Kazemi Hokmabad, S. E. Khatoon abadi Kalali, A. R. Kosari, E. Kosari, and V. Bohlouri, "study of space weather and its risks on human biologic processes," *Journal of Space Science and Technology*, vol. 16, no. 3, pp. 51-68, 2023 (in Persian).

2. Investigating solar phenomena in space weather

The sun and its atmosphere, from the inner core to the outer corona, consist of several regions or different layers, which can be seen in Figure 1. Beyond the corona lies the solar wind, which is the outer extent of the coronal plasma that fills the solar system. Controlled by the Earth's magnetic field, the magnetosphere acts as a shield to protect our planet from the solar wind. The shape of Earth's magnetosphere is a direct result of being influenced by the solar wind; It is compressed on the sun side and stretched on the other (night) side, creating a feature known as the magnetic tail. The relentless magnetic activity of the sun directly affects the near-Earth environment.

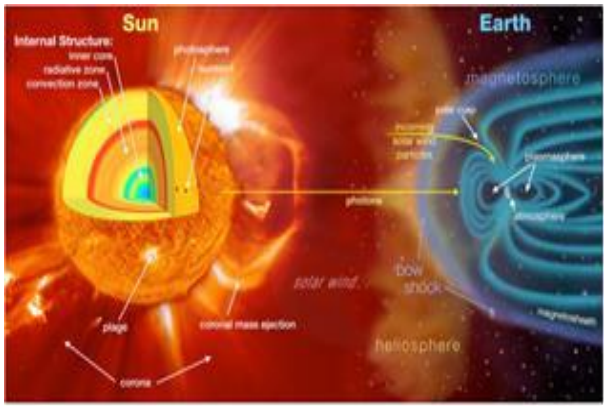


Figure 1. **The sun and its atmosphere consist of several regions or layers [4].**

3. Risks of solar phenomena on human health

Studies related to physical activity levels and human medical data show that changes in the geomagnetic field, along with increased levels of cosmic ray activity, can have direct or indirect effects on human health and physiology. Other studies have identified the effects of space weather on human health [1]:

a) High rate of blood cancer and solid cancer.

b) High blood pressure and acute heart attack

c) More strokes and cerebrovascular insufficiency.

d) Severe migraine attacks.

e) More depression and suicide.

f) Cardiovascular fluctuations that are related to the level of geomagnetic activity and the 11-year cycle of solar activity.

The electromagnetic field affects the specific acute conditions of patients with brain, nerve or heart diseases.

During magnetic storm days, changes in blood clotting, sedimentation rate and pulse are detected. The direct physical impact of high-energy solar radiation, especially during solar flares, has a global impact on living organisms as well as human health. Neuropsychiatric diseases show more instability in periods of increasing and decreasing solar activity [2].

Studies show that at least 75% of magnetic storms cause an average increase of 1.5 times the number of people hospitalized with cardiovascular diseases. Investigation of the blood of the tested patients showed that the viscosity of the blood in magnetic storms increases sharply (in some cases almost twice), the red blood cells stick together and the blood flow slows down. As a result, it has been proven that magnetic storms increase the risk of cardiovascular diseases. Table 1 shows the relationship between stormy days and sudden cardiac death (SCD).

Table 1. **Relation between stormy days and SCD.**

GMA-levels	Days	SCD
Quiet GMA	951	689
HSSWS-caused storm	95	72
MC -caused storm	50	27

4. Conclusions

In this study, the effects of space weather on the environment, human health and space equipment were investigated. As a result of studying and reviewing articles on the effects of space weather on living beings, especially humans, it was obtained. On a daily scale, in regular functioning mode, the heart and brain rhythm of healthy people are synchronized with the changes of the magnetic field in some frequency ranges. Investigation the blood of the patients showed that the viscosity of the blood increases sharply in magnetic storms, the red blood cells become sticky and the blood flow slows down. As a result, it has been proven that magnetic storms increase the risk of cardiovascular diseases. Also, solar activity at birth reduces the probability of survival into adulthood for both men and women.

5. References

[1] S. Unger, “The Impact of Space Weather on Human Health,” *Biomed. J. Sci. Tech. Res.*, vol. 22, no. 1, pp. 16442–16443, 2019.

[2] K. Podolská, “Changes of circulatory and nervous diseases mortality patterns during periods of exceptional solar events,” *Atmosphere (Basel).*, vol. 12, no. 2, 2021.

[3] O. Shekoofa and F. Bagheroskouei, "Looking at space climate phenomena, monitoring and forecasting systems, and the road map for preparing against them," 2020. (in Persian).

[4] O. Shekoofa, M. Khoshsima, S. Ghazanfarinia, and F. Bagheroskouei, "Toward the Establishment of a National Center for Space Weather Services: Vision, Mission and Organization," Science, Technology and Space Applications, vol. 1, no. 2, pp. 34–48, 2022. (in Persian).

[5] A. Kazemi Hokmabad, E. Khatoonabadi Kalali, A. Kosari, and O. Shekoofa, “Space Weather and its Effects on the Human Heart and Brain,” in *20st International Conference Of Iranian Aerospace, Tehan, Iran.*, 2022. (in Persian).

[6] E. Khatoonabadi Kalali, A. Kazemi Hokmabad, A. Kosari, and O. Shekoofa, “Social and Economic Effects Caused by Space Weather,” in *20st International Conference of Iranian Aerospace,Tehan, Iran*, 2022. (in Persian).

JSST
فصلنامهٔ علمی - پژوهشی علوم و فناوری فضایی
دوره ۱۶ / شماره ۳/ پاییز ۱۴۰۲ / (پیاپی ۵۷)
شاپای چاپی: ۴۵۶۰- ۲۰۰۸ / شاپای الکترونیکی: ۴۵۱۶-۲۳۲۴
DOI:10.30699/JSST.2023.1431
ص. ص. ۶۸- ۵۱ / مقاله علمی- پژوهشی / دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۵ / پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۱

مطالعه اقلیم فضا و مخاطرات آن بر فرآیندهای زیستی انسان

آیدا کاظمی حکم‌آباد [۱]، سیده الهه خاتون‌آبادی کلالی [۲]، امیر رضا کوثری [۳]*، احسان کوثری [۴] و وحید بهلوری [۵]

۱-۲و۳- دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴- پژوهشکده سامانه‌های ماهواره، پژوهشگاه فضایی ایران، تهران، ایران

۵- گروه مهندسی برق، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

***ایمیل نویسنده مخاطب: kosari_a@ut.ac.ir**

این مقاله فعالیت‌های خورشیدی و پدیده‌های آن را از منظر مخاطرات اقلیم فضا بر محیط زیست کره زمین و سلامت انسان در زمین و محیط فضا بررسی می‌نماید. خورشید به‌عنوان کانون منظومه شمسی مهم‌ترین عامل شرایط محیطی اقلیم فضا است. پدیده‌های خورشیدی و ویژگی‌های آن‌ها نظیر فعل و انفعالات شیمیایی، تغییرات و بادهای خورشیدی، لایه‌های یونوسفر، مگنتوسفر و ترموسفر و امواج ساطع شده الکترومغناطیسی بررسی شده است. با توجه به آسیب‌هایی که امروزه از طریق پدیده‌های خورشیدی و تابش‌های شدید آن به محیط زیست وارد شده، مطالعه و جمع‌آوری اطلاعات درباره اقلیم فضا و تاثیر آن بر زیست کره زمین ضروری است. در این مقاله علاوه بر توضیح مختصر درباره فیزیک خورشید و پدیده‌های اقلیم فضا، تاثیرات این پدیده‌ها بر سلامت انسان بررسی شده است. در این راستا نتایج تحقیقات انجام شده بین‌المللی مطالعه و بررسی شده تا ارتباط بین بیماری‌های قلبی، مغزی، سرطان و همچنین نرخ تولد، سلامت فضانوردان و حیات حیوانات با پدیده‌های اقلیم فضا مشخص شود. نتایج این مقاله کمک می‌کند که در هنگام وقوع رویدادهای خورشیدی بتوان این رویدادها را پیش‌بینی نموده و با اتخاذ تدابیر صحیح علاوه بر حفظ سلامت زیستی، خسارات احتمالی را نیز حداقل نمود.

واژه‌های کلیدی: اقلیم فضا، خورشید، سلامت انسان، محیط زیست، کره زمین

اختصارات

پرتاب جرم تاجی	Coronal Mass Ejection (CME)
توفان تابش خورشیدی	Solar Energic Particles (SEP)
فعالیت ژئومغناطیسی	Geomagnetic Activity (GMA)
پدیده رزونانس شومان	Schumann Resonance (SR)
توفان ژئومغناطیسی	Geomagnetic Storm (GS)
رویداد شدید پروتون خورشیدی	Solar Particle Events (SPE)

مقدمه

جهان امروز به‌طور فزاینده‌ای وابسته به دانش و فناوری است که عمده فناوری‌ها متاثر از شرایط محیطی فضا و تغییرات آن هستند. شناخت فرایندهای اقلیم فضا و به‌طور ویژه روابط بین فعالیت‌های خورشیدی و اثرات احتمالی آن بر زیست‌بوم سلامت کره زمین حائز اهمیت است. اصطلاحاً «اقلیم فضا»[۶] واژه‌ای است که برای توصیف تغییرات خورشید، باد خورشیدی، لایه‌های یونوسفر، مگنتوسفر و ترموسفر استفاده می‌شود که

۱. کارشناسی ارشد
۲. کارشناسی ارشد
۳. استادیار (نویسنده مخاطب)
۴. کارشناسی ارشد
۵. استادیار
6. Space Weather

COPYRIGHTS
©2023 by the authors. Published by Aerospace Research Institute. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

می‌تواند بر عملکرد و قابلیت‌اطمینان انواع سیستم‌های مهندسی فضاپایه و زمین‌پایه تأثیر گذاشته و سلامت و ایمنی زیستی را نیز تهدید کند [۱].

اقلیم فضا نه تنها بر عملکرد سیستم‌های فنی در فضا و زمین تأثیر می‌گذارد، بلکه ممکن است زیست کره زمین و انسان‌ها را نیز به خطر بیندازد [۲]. تأثیرات پدیده اقلیم فضا را می‌توان به دو دسته مخاطرات در جو اطراف زمین و مخاطرات در کره زمین تقسیم کرد. خرابی‌های سامانه‌های فضاپایه نظیر قطعات الکترونیکی و محرکه‌های انتقال نیرو، وقفه در سیستم‌های مخابراتی و ناوبری، اختلال برخی محموله‌های سنجشی ماهواره‌ها و تغییر شرایط زیستی برای فضانوردان از جمله مخاطرات اقلیم فضا در جو اطراف زمین است. سلامت زیستی ساکنان کره زمین و انسان‌ها دسته دیگری از مخاطرات اقلیم فضا بر روی کره زمین است.

بسیاری از مردم باستانی مانند مصری‌ها و مایاها خورشید را به‌عنوان منبع حیات می‌شناختند و آن را می‌پرستیدند [۳]. به‌همین دلیل تغییرات خورشید و حرکات اجرام آسمانی را رصد می‌کردند.

رخدادهای اقلیم فضا همواره در سطح جهانی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد، به‌همین علت مطالعات و تحقیقات فراوانی در این زمینه صورت پذیرفته است. بسیاری از تحقیقات در مورد آنچه که بعداً اقلیم فضایی نامیده شد، ریشه در جنبه‌های عملی مورد نیاز نظامی و دفاعی در جنگ جهانی دوم داشته است [۴]. در سال‌های اخیر نیز این تحقیقات برای استفاده در حوزه‌های مختلف کاربردهای فراوانی داشته است. در مرجع [۵] تحقیقات مرتبط با سطوح فعالیت بدنی محیطی و داده‌های پزشکی انسان بررسی شده‌است که نشان می‌دهد تغییرات میدان ژئومغناطیسی، همراه با افزایش سطح فعالیت اشعه کیهانی، می‌تواند تأثیرات مستقیم و یا غیرمستقیم بر سلامت و فیزیولوژی انسان داشته‌باشد. هم‌چنین در مرجع [۶] تجزیه و تحلیل آماری ارتباط بین رویدادهای استثنایی خورشیدی و تعداد مرگ و میر روزانه را در جمهوری چک بررسی کردند و به‌طور خاص، بر بیماری‌های سیستم عصبی و بیماری‌های سیستم گردش خون متمرکز شدند. نتایج نشان می‌دهد که بیماری‌های عصبی بی‌ثباتی بیشتری را در دوره افزایش و کاهش فعالیت خورشیدی دارد. از جمله تحقیقات دیگری که در زمینه اثرات خورشید انجام گرفته‌است می‌توان مطالعه [۷] را نام برد که به‌منظور مشاهده تأثیر احتمالی فعالیت خورشیدی و ژئومغناطیسی بر آنفولانزا در جمهوری آذربایجان انجام گرفت. در مراجع [۸]، [۲] و [۹] نیز تاثیر توفان‌های ژئومغناطیسی بر روی سیستم یکپارچه مغز انسان و سکته‌های مغزی مورد بررسی قرار گرفته‌است.

علاوه بر این تحقیقات متعددی در ایران نیز جهت مطالعات اقلیم فضایی صورت گرفته است. پژوهش [۱۰] به بررسی تأثیر لکه‌های خورشیدی در تغییرات اقلیم استان فارس پرداخت. مرجع [۱۱] بررسی لکه‌های خورشیدی و تاثیر آن بر روی بارندگی استان سمنان را با مراجعه به تارنمای سازمان ژئوفیزیک آمریکا، انجام داد. هم‌چنین در مرجع [۱۲] به بررسی توفان‌های مغناطیسی و تاثیرات آن بر فناوری‌ها پرداخته شده است. مرجع [۱۳] نیز به موضوع اقلیم فضا و چالش‌ها و اهمیت آن در سطح بین‌المللی و نقشه راه پیشنهادی برای فعالیت‌ها در این حوزه پرداخته است. به علاوه ضرورت انجام مطالعات، پایش و ارائه سرویس‌های مرتبط با رخدادهای اقلیم فضا و ایجاد یک مرکز ملی برای نیل به این اهداف در [۱۴] پرداخته شده است. در مقاله [۱۵] علاوه بر مطالعه و بررسی پدیده‌های اقلیم فضا، اثرات آن بر سلامت قلب و مغز انسان نیز بررسی گردید که در نتیجه آن ارتباط بین بیماری‌های قلبی و مغزی با پدیده‌های اقلیم فضا تایید شد. مرجع [۱۶] با مطالعه تحقیقات و گزارش‌های موجود در زمینه اقلیم فضا، به تاثیرات مخرب اقلیم فضا بر تعدادی از زیرساخت‌های جامعه پرداخت و تاثیرات اقتصادی و اجتماعی ناشی از رویدادهای اقلیم فضا را مورد بررسی قرار داد. مرجع [۱۷] نیز به بررسی فعالیت‌های خورشیدی که ممکن است میدان ژئومغناطیسی را مختل کند و شبکه برق را از طریق جریان‌های القای ژئومغناطیسی تحت تاثیر قرار دهد، پرداخته است؛ GIC[1] های جاری در سیستم‌های برق یکی از اثرات GMD[2] به‌عنوان شاخص اقلیم فضا است که می‌تواند باعث اشباع ترانسفورماتورهای برق شود. در این مرجع با تحلیل توان ترانسفورماتورها به بررسی شواهد شار GIC در شبکه پرداخته شد.

بنابراین ضروری به نظر می‌رسد که بررسی جامعی از مخاطرات اقلیم فضا برای سامانه‌های فضاپایه و زمین‌پایه و هم‌چنین مخاطرات زیستی انجام شود. در این مطالعه ابتدا پدیده‌های خورشیدی و ویژگی‌های هر کدام از آن‌ها بررسی شده است تا شناخت مناسبی از این پدیده‌ها ایجاد شود سپس مخاطرات این پدیده‌ها بر زیست کره زمین و سلامت انسان‌ها بررسی می‌شود و در ادامه تأثیر پدیده‌های خورشیدی بر محیط فضا بررسی می‌گردد. پدیده رزونانس شومان[3] نیز به عنوان عاملی که می‌تواند واسطه اثربخشی پدیده‌های اقلیم فضا بر انسان روی زمین باشد، معرفی و شرح داده شد.

این پژوهش بر اساس جستجوی فعالیت‌ها و در قالب بررسی آماری با تمرکز بر کلمات کلیدی نظیر اقلیم فضا[4]، خورشید[5]، سلامت انسان[6]، محیط زیست[7] و کره زمین[8] صورت گرفته است. هدف اصلی این تحقیق، پایه‌گذاری و توسعه مطالعات آماری در حوزه اقلیم فضا و

1 . Geomagnetically Induced Current
2 . Geomagnetic Disturbance
3. Schumann Resonance
4. Space Weather
5. Sun
6. Human Health
7. Environment
8. Planet Earth

مخاطرات زیستی آن بوده که در ادامه مطالعات تطبیقی برای کشور ایران نیز انجام شده است. در این راستا، حدود ۱۸۰ تحقیق علمی شامل کتاب، مقاله، پایان‌نامه و وبگاه‌های معتبر مورد بررسی و مطالعه اجمالی قرار گرفتند که از این بین، حدود ۴۴ مرجعی که به موضوعات مورد مطالعه مرتبط‌تر بودند و هم‌چنین تناسب جغرافیایی بیشتری با کشورمان داشتند، به‌صورت دقیق‌تر بررسی و مورد شدند. نهایتاً نتایج به‌صورت دسته‌بندی شده و با جزئیات بیشتر در این مقاله تشریح شده‌اند.

بررسی پدیده‌های خورشیدی در اقلیم فضا

خورشید و جو آن از هسته داخلی تا تاج بیرونی[1]از چندین ناحیه یا لایه‌های مختلفی تشکیل شده است که در شکل ۱ مشاهده می‌شود. فراتر از تاج، باد خورشیدی[2] قرار دارد، که گستره بیرونی پلاسمای تاجی است که منظومه شمسی را پر می‌کند. مگنتوسفر[3] تحت کنترل میدان مغناطیسی زمین، به عنوان سپری برای محافظت از زمین در برابر بادهای خورشیدی عمل می‌کند. شکل مگنتوسفر زمین نتیجه مستقیم تحت تأثیر قرار گرفتن باد خورشیدی است؛ در سمت خورشید فشرده شده و در سمت دیگر (شب) کشیده شده است و باعث ایجاد ویژگی معروف به دم مغناطیسی می‌شود. فعالیت مغناطیسی بی امان خورشید به‌طور مستقیم بر محیط نزدیک زمین تأثیر می‌گذارد [۴].

به علت دمای بسیار بالای خورشید، مواد در خورشید حالت گازی و پلاسمایی شکل دارند که این امر به خورشید این امکان را می‌دهد که در نزدیک نواحی استوایی خورشید با سرعت بیشتری (۲۵ روز) نسبت به نواحی نزدیک قطبین آن (۳۵ روز) بچرخد. چنین تفاوتی در چرخش خورشید که به آن «چرخش تفاضلی» یا «افتراقی خورشید» گفته می‌شود منجر به شکل‌گیری «حلقه‌های مغناطیس» می‌شود.

مغناطیس خورشیدی مجموعه‌ای از بازه‌های زمانی مختلف را نشان می‌دهد که چرخه ۱۱ ساله لکه‌های خورشیدی مهم‌ترین آنهاست. لکه‌های خورشیدی مظهر غلظت شدید میدان مغناطیسی هستند و میزبان «شراره‌ها»[4]، «پرتاب جرم تاجی»[5] (به‌عبارت دیگر، خطرناک‌ترین رویدادهای اقلیم فضایی) و حفره تاجی هستند. متعاقباً مشخص شد که حفره‌های تاجی، امتداد بیرونی نواحی گسترش یافته میدان مغناطیسی تک قطبی و منبع «باد سریع خورشیدی» هستند. مغناطیس خورشیدی علت اصلی ایجاد اقلیم فضا است و در واقع بخش عمده‌ای از تغییرپذیری خورشید را در مقیاس‌های مختلف ایجاد می‌کند [۴].

لکه‌های خورشیدی حوزه‌هایی هستند که به علت وجود فعالیت‌های بسیار شدید مغناطیسی در این نقاط، انتقال حرارت در آنها متوقف شده و هیچ‌گونه جریان همرفتی در این نقاط وجود ندارد که این امر مانع از انتقال دمای بسیار بالای سطح داخلی و بسیار داغ خورشید به این نواحی و در نتیجه، سردتر بودن این نقاط نسبت به سایر مناطق خورشید می‌شود. این مناطق مغناطیسی منجر به گرمایش شدید تاج و شکل‌گیری مناطق فعال در خورشید می‌شود و خود، منبع شکل‌گیری «شراره‌های عظیم خورشیدی» و «فوران انبوه تاج خورشیدی» به خارج هستند. لکه‌های خورشیدی بسیار عظیم، می‌توانند وسعتی معادل با ده‌ها هزار کیلومتر داشته باشند.

پرتاب جرم تاجی ابرهای بزرگی از پلاسما و میدان مغناطیسی هستند که از خورشید فوران می‌کنند. این ابرها می‌توانند در هر جهتی فوران کرده و سپس در آن جهت ادامه یابند و درست از طریق باد خورشیدی حرکت کند. تنها زمانی که ابر به سمت زمین هدف گرفته شود، CME به زمین برخورد می‌کند [۱۸].

هاله (جو بیرونی) خورشید حاوی ذراتی است که انرژی کافی برای فرار از جاذبه خورشید را دارند. این ذرات به‌صورت مارپیچی با سرعتی معادل ۹۰۰ کیلومتر (۵۶۰ مایل) در ثانیه از خورشید دور شده و باد خورشیدی را به‌وجود می‌آورند. این ذرات در همان مسیرهای میدان مغناطیسی خورشید حرکت می‌کنند و از آنجا که دارای بار الکتریکی هستند، منظومه شمسی را پر از جریانات الکتریکی می‌کنند.

شراره به عنوان یک تغییر ناگهانی، سریع و شدید روشنایی تعریف می‌شود. هنگامی که انرژی مغناطیسی ایجاد شده در جو خورشیدی ناگهان آزاد می‌شود، یک شراره خورشیدی رخ می‌دهد. تابش تقریباً در کل طیف الکترومغناطیسی، از امواج رادیویی در انتهای طول موج بلند، از طریق انتشار نوری به اشعه ایکس و گاما در انتهای طول موج کوتاه ساطع می‌شود. مقیاس زمانی شراره دقیقه است و تشعشعات خورشیدی بعد از حدود ۸ دقیقه به جو زمین برخورد می‌کند [۴].

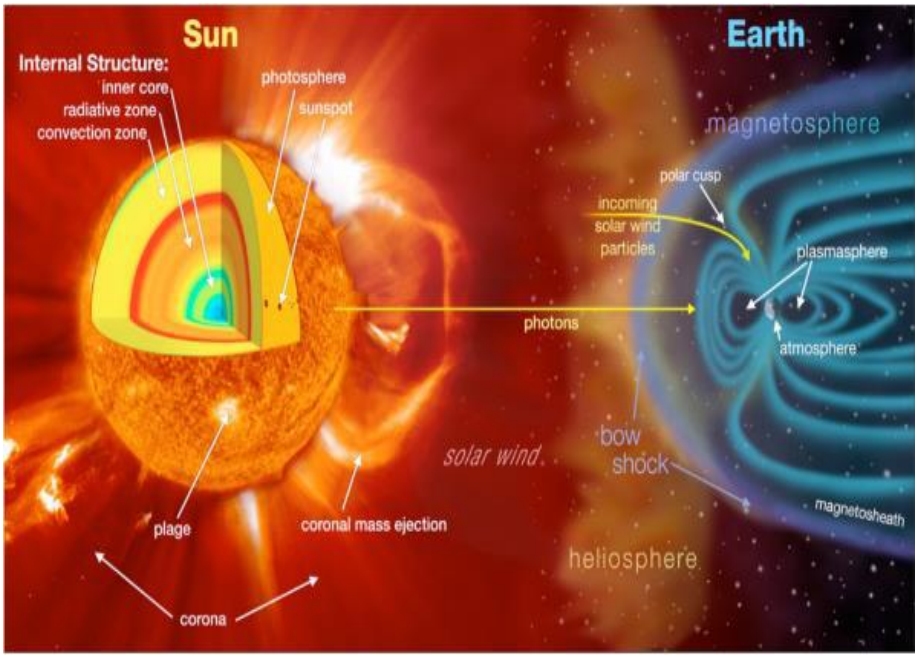
از سال ۱۹۷۲، مشاهدات مداوم حفره‌های تاج و میدان‌های مغناطیسی مربوط به آن با استفاده از انواع تجهیزات ماهواره‌ای و زمین‌پایه انجام شده است. نتایج مقایسه این مشاهدات نشان می‌دهد که ساختار و تکامل حفره‌های تاجی اساساً با توزیع وسیع شار مغناطیسی فوتوسفر اداره می‌شود [۱۹].

پدیده‌هایی که ذکر شدند از طریق مکانیزم‌های مختلف می‌توانند تاثیرات متفاوتی بر سامانه‌های فضایی و زمینی داشته باشند. فوران‌های شدید الکترومغناطیسی خورشید ظرف ۸ الی ۳۰ دقیقه از خورشید به زمین می‌رسند و عملکرد بسیاری از زیرساخت‌های مخابراتی و الکتریکی را مختل می‌کنند. توفان‌های تشعشعی (حامل الکترون‌ها و پروتون‌های پر انرژی) و توفان‌های ژئومغناطیسی (حامل

1 . Outer Corona
2. Solar Wind
3. Magnetosphere
4. Flares
5. Coronal Mass Ejection (CME)

اجرام پرتاب شده کرونا) می‌توانند امواجی تولید کنند که تا ۲۴ ساعت بعدتر به زمین برسند و اختلال در شبکه ها و زیرساخت‌ها را تشدید کنند و در نتیجه به فعالیت‌های اقتصادی آسیب جدی برسانند [۱۳].

زمین مانند یک آهنربای بزرگ رفتار می‌کند. جهت میدان مغناطیسی کره زمین از جنوب جغرافیایی (قطب S) به سمت شمال جغرافیایی (قطب N) است. مگنتوسفر مانند لایه اوزون برای حیات روی زمین مهم است زیرا از ما در برابر بیشتر تابش‌های مضر و پلاسمای داغ خورشید محافظت و آن را به فضا منحرف می‌کند. میدان مغناطیسی با انتشار از خورشید دائماً ضربه می‌خورد، که می‌تواند منجر به جریانات الکتریکی در فضای اطراف زمین شود، جریاناتی که می‌توانند انتقال رادیویی و ماهواره‌ها را مختل کنند. آنها هم‌چنین می‌توانند شفق‌های قطبی زیبایی ایجاد کنند [۲۰].



شکل ۱- خورشید و جو آن از چندین ناحیه یا لایه تشکیل شده است [۴]

دانشمندان انواع مختلفی از رویدادهای اقلیم فضا نظیر توفان‌های ژئومغناطیسی[۱]، توفان‌های تابش خورشیدی[۲]و خاموشی‌های رادیویی[۳] را که همگی ناشی از این انفجارهای عظیم در خورشید هستند، زیر نظر دارند. یکی از رایج‌ترین انواع پدیده‌های اقلیم فضا، توفان ژئومغناطیسی است که به زمانی گفته می‌شود که محیط مغناطیسی زمین یعنی مگنتوسفر، دچار تغییر ناگهانی و مکرر می‌شود. در زمان این توفان‌ها، میدان‌های مغناطیسی به‌طور پیوسته هم‌تراز شده و انرژی به سرعت از منطقه‌ای به منطقه دیگر حرکت می‌کند [۱۸]. توفان‌های مغناطیسی معمولا از چند فاز اولیه[۴]، اصلی[۵] و بازیافت[۶] تشکیل می‌شوند [۱۲].

توفان‌های ژئومغناطیسی هنگامی رخ می‌دهند که انواع خاصی از CMEها به مدت طولانی با خارج از مگنتوسفر متصل می‌شوند. مواد خورشیدی در CME با مجموعه‌ای از میدان‌های مغناطیسی خاص خود حرکت می‌کند. اگر میدان‌ها به سمت شمال باشند، با میدان‌های خود مگنتوسفر همسو می‌شوند و انرژی و ذرات به سادگی در اطراف زمین می‌لغزند و تغییرات کمی ایجاد می‌کنند. اما اگر میدان‌های مغناطیسی به سمت جنوب و در جهت مخالف میدان‌های زمین قرار گیرند، تأثیرات می‌تواند چشمگیر باشد [۱۸].

توفان‌های ژئومغناطیسی همیشه نیازی به CME ندارند. توفان‌های ژئومغناطیسی با ابزارهای زمین‌پایه اندازه گیری می‌شوند که مشاهده می‌کنند چه اندازه مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین متغیر است. بر اساس این اندازه‌گیری، توفان‌ها از G۱ (جزئی) تا G۵ (شدید) طبقه‌بندی می‌شوند [۱۸]. در جدول ۱ می‌توان تعدادی از توفان‌های ژئومغناطیسی را مشاهده کرد.

توفان تابش خورشیدی، که گاهی اوقات رویداد ذرات انرژی خورشیدی[۷](SEP) نیز نامیده می‌شود، تقریباً همان چیزی است که به نظر می‌رسد یعنی ورود شدید تابش از خورشید. CME و شراره‌های خورشیدی می‌توانند چنین تابشی را که از پروتون‌ها و سایر ذرات باردار تشکیل شده است، حمل کنند. تابش توسط مگنتوسفر و اتمسفر مسدود شده است، بنابراین نمی‌تواند به انسان‌های روی زمین برسد. با این حال،

1. Geomagnetic Storms
2. Solar Radiation Storms
3. Radio Blackouts
4. Initial Phase
5. Main Phase
6. Recovery Phase
7. Solar Energic Particles

چنین توفانی می‌تواند به انسان‌هایی که از زمین به ماه یا مریخ سفر می‌کنند آسیب برساند، هرچند تأثیر چندانی بر مسافران هواپیما یا فضانوردان درون مگنتوسفر زمین ندارد. توفان‌های تابش خورشیدی در مقیاسی از S۱ (جزئی) تا S۵ (شدید) درجه‌بندی می‌شوند و بر اساس تعداد ذرات بسیار پرانرژی و سریع خورشیدی در یک فضای معین در اتمسفر حرکت می‌کنند [۱۸].

خاموشی رادیویی هنگامی رخ می‌دهد که انفجار شدید و ناگهانی اشعه ایکس از شراره خورشیدی به اتمسفر زمین برخورد کرده و سیگنال‌های رادیویی فرکانس بالا و پایین را مختل کند. اشعه ایکس لایه‌ای از اتمسفر زمین را به‌نام یونوسفر مختل می‌کند که امواج رادیویی از طریق آن عبور می‌کنند. خاموشی‌های رادیویی در مقیاسی از R۱ (جزئی) تا R۵ (شدید) درجه‌بندی می‌شوند [۱۸].

جدول ۱- تاریخ و اطلاعات برخی از توفان‌های ژئومغناطیسی [۲۱].

توفان‌های ژئومغناطیسی		
شدیدترین توفان‌های ژئومغناطیسی (Dst)۱۹۳۲-۲۰۰۰		مقیاس اقلیم فضایی NOAA: توفان ژئومغناطیسی
۱۴ مارس ۱۹۸۹	-۵۴۸ nT	همه توفان‌های شدید، مقیاس K-index را در K9 اشباع می‌کنند.
۵ جولای ۱۹۴۱	-۴۵۳ nT	
۲۸ مارس ۱۹۴۶	-۴۴۰ nT	فرکانس: ۴ در هر سیکل
۱۵ جولای ۱۹۵۹	-۴۳۴ nT	
۱۱ فوریه ۱۹۵۸	-۴۲۸ nT	پیامدها: شفق‌های قطبی در عرض جغرافیایی پایین، آسیب ترانسفورمور، قطع برق، جریان خط لوله به صدها آمپر میرسد.
۱۳ سپتامبر ۱۹۵۷	-۴۲۶ nT	
۲۶ می ۱۹۶۷	-۳۹۱ nT	
۳۱ مارس ۲۰۰۱	-۳۸۳ nT	
۱ مارس ۱۹۴۱	-۳۸۲ nT	
۹ نوامبر ۱۹۹۱	-۳۷۵ nT	

در ابتدا به‌نظر می‌رسید این ایده که لکه‌های خورشیدی یا شراره‌های خورشیدی بر سلامت انسان روی زمین تأثیر می‌گذارد فاقد اعتبار علمی است. با این حال، هنگامی که ارتباطات قابل توجهی بین بستری شدن در بیمارستان‌ها و ثبت‌های بهداشتی و فعالیت ژئومغناطیسی خورشیدی (S-GMA) [۱] یافت شدند، پس از آن چالش این بود که یک مکانیسم و مدل علمی قابل قبول و مستند از نظر علمی تصویرسازی و مستندسازی شود. تحقیقات گسترده‌ای وجود دارد که S-GMA را با اثرات بیولوژیکی و اثرات سلامتی انسان مرتبط می‌کند. فرضیه‌ای که در اینجا مطرح می‌شود این است که سیگنال رزونانس شومان (SR) مکانیسم بیوفیزیکی قابل قبولی برای ارتباط سطوح S-GMA با اثرات بیولوژیکی و سلامتی انسان است. این عمل با جذب شدید توسط سیستم‌های مغزی و تغییر تعادل سروتونین/ ملاتونین انجام می‌شود. تأیید این فرضیه این پیشنهاد را تقویت می‌کند که S-GMA یک خطر طبیعی برای انسان‌ها، حیوانات و سایر گونه‌ها است [۲۲].

رزونانس‌های شومان (SR) مجموعه‌ای از پیک‌های طیف در بخش فرکانس بسیار پایین (ELF) طیف میدان الکترومغناطیسی زمین هستند. رزونانس‌های شومان تشدیدهای الکترومغناطیسی جهانی هستند.

پدیده SR ابتدا توسط فیزیکدان آلمانی دکتر شومان[۲] تصور و پیشنهاد شد. وجود سیگنال‌ها با اندازه‌گیری ها در اواسط دهه ۱۹۵۰ تأیید گردید. سیگنال SR یک سیگنال ULF/ELF در سطح جهانی است که از زمان شکل‌گیری یونوسفر و وجود رعد و برق[۳] ایجاد شده است. سیگنال SR بدین‌منظور مورد بررسی قرار گرفت زیرا شباهت زیادی به طیف EEG[۴] انسان دارد و شواهدی مبنی بر این دارد که سیگنال‌های محیطی با محدوده فرکانس یکسان با مغز انسان تعامل دارند [۲۲].

از عواملی که در محیط طبیعی باعث ایجاد اثرات بیولوژیکی و فیزیکی مشاهده شده می‌شود، شامل تغییر فشار خون و ملاتونین، افزایش سرطان، تولید مثل، بیماری‌های قلبی و عصبی و مرگ است. بسیاری از مطالعات نشان دادند که قرار گرفتن در معرض میدان‌های ELF بین ۱۶/۷ هرتز و ۵۰-۶۰ هرتز سطح ملاتونین را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. مشخص شده است که سیگنال رزونانس شومان با شاخص‌های S-GMA تعداد لکه‌های خورشیدی و شاخص K_P بسیار ارتباط دارد [۲۲].

مخاطرات پدیده‌های خورشیدی بر سلامتی انسان

مرور سیستماتیک مطالعات هلیوبیولوژیکی[۵] انجام گرفته به مطالعه تأثیر بالقوه عوامل اقلیم فضا بر سلامت و رفاه انسان اختصاص داده شده است. هرچه مقیاس زمانی انتخاب شده بزرگتر باشد، سطح سازماندهی سیستم بیولوژیکی برآورد شده بیشتر و درجه پاسخ بالقوه قوی‌تر است [۲۳].

مطالعات مرتبط با سطوح فعالیت بدنی محیطی و داده‌های پزشکی انسان نشان می‌دهد که تغییرات میدان ژئومغناطیسی، همراه با افزایش سطح فعالیت اشعه کیهانی، می‌تواند تأثیرات مستقیم و یا غیرمستقیم بر سلامت و فیزیولوژی انسان داشته باشد، حتی زمانی که اندازه اختلال میدان ژئومغناطیسی بسیار کوچک و یا حتی برابر با صفر باشد. آمارها تأثیر سطوح فعالیت ژئومغناطیسی بر بستری شدن در بیمارستان را مشخص می‌کنند. سایر مطالعات تأثیرات اقلیم فضا را بر سلامت انسان مشخص کرده‌اند [۵]:

1. Solar Geomagnetic Activity
2. W.O. Schumann
3. Thunderstorms

۴. فعالیت الکتریکی پیوسته تولید شده توسط مغز

۵ Heliobiological. شاخه جدیدی از علم که به تأثیرات فعالیت خورشیدی بر سلامت انسان می پردازد.

الف) میزان بالای سرطان خون[1] و سرطان جامد[2].
ب) فشار خون بالاتر، سکته قلبی حاد[3] و موارد بیشتر انفارکتوس میوکارد دیواره قدامی[4].
ج) سکته‌های بیشتر و نارسایی عروق مغزی.
د) حملات شدید میگرنی.
ه) افسردگی و خودکشی بیشتر.
و) نوسانات قلبی عروقی که مربوط به سطح فعالیت ژئومغناطیسی و چرخه ۱۱ ساله فعالیت خورشیدی هستند [۵].

این ایده که تغییرات در خورشید و میدان مغناطیسی زمین می‌تواند بر سلامت انسان تأثیر بگذارد، پیامدهای جهانی دارد. اما این امر به‌ویژه برای افرادی حائز اهمیت است که در عرض جغرافیایی بالا و در مناطق جغرافیایی مغناطیسی که نوسانات ژئومغناطیس دارای دامنه‌های وسیع‌تر هستند، ساکن می‌باشند. به‌منظور مطالعه ارتباط بین فعالیت ژئومغناطیس و سلامت انسان، اندازه‌گیری سطح فعالیت ژئومغناطیس مورد نیاز است. رصدخانه‌های ژئومغناطیس از مغناطیس‌سنج‌ها برای ارائه یک شبکه جهانی از تغییرات میدان مغناطیسی استفاده می‌کنند [۲۴].

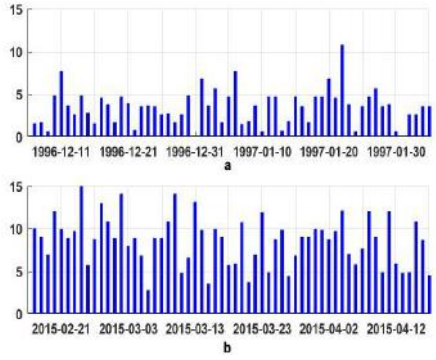
مخاطرات پدیده‌های خورشیدی بر مغز و روان

میدان الکترومغناطیسی بر شرایط حاد خاص بیماران مبتلا به بیماری‌های مغزی، عصبی یا قلبی تأثیر می‌گذارد. دو مکانیسم اصلی تأثیر فعالیت خورشیدی بر سلامت انسان، تأثیر میدان مغناطیسی و تابش خورشیدی است. میدان مغناطیسی به‌طور خاص بر سیستم عصبی و فعالیت هورمونی تأثیر می‌گذارد. در روزهای توفان مغناطیسی، تغییرات لخته‌شدن خون، میزان رسوب و نبض تشخیص داده می‌شود. تأثیر فیزیکی مستقیم تابش خورشیدی با انرژی بالا، به ویژه در طول شراره‌های خورشیدی، تأثیر جهانی بر موجودات زنده و هم‌چنین سلامت انسان دارد. فرض بر این است که بیماری‌های عصبی روانی در دوره‌های افزایش و کاهش فعالیت خورشیدی بی‌ثباتی بیشتری از خود نشان می‌دهند. در برخی از مطالعات، از رزونانس شومان به‌عنوان مکانیسم تأثیر احتمالی فعالیت خورشیدی و ژئومغناطیس بر سلامت انسان یاد شده‌است [۶].

تغییرات تعداد روزانه مرگ و میرها در طی سال‌های ۱۹۹۴-۲۰۱۵ بررسی شد. کل دوره مشاهده شده مربوط به زمان اعتبار طبقه بندی بین‌المللی بیماری‌ها، تجدید نظر دهم (ICD-۱۰) است و نسخه واحد سیستم کدگذاری الکترونیکی IRIS[5] در طول این دوره در جمهوری چک مورد استفاده قرار گرفت. در این دوره بر رویدادهای فوق‌العاده قوی خورشیدی تمرکز شده‌است [۶]:
-توفان ژئومغناطیسی در ۷ ژانویه ۱۹۹۷.
- توفان در ۲ آوریل ۲۰۰۰، همراه با شراره خورشیدی کلاس X۲۰.
- توفان در ۱۴ جولای ۲۰۰۰، رویداد روز باستیل، مرتبط با شراره‌های خورشیدی کلاس X۵.
- توفان در ۲۸ اکتبر ۲۰۰۳، توفان‌های خورشیدی هالووین، همراه با شراره‌های خورشید در کلاس X۱۷.
- توفان ۷ سپتامبر ۲۰۰۵، همراه با شراره‌های خورشیدی کلاس X۱.
- توفان در ۱۷ مارس ۲۰۱۵، رویداد روز سنت پاتریک، مربوط به شراره‌های خورشیدی کلاس G۴.

طبق بررسی‌ها و تحقیقات صورت گرفته، نتایج در دوره‌های چهار توفان بزرگ خورشیدی (توفان ۲ آوریل ۲۰۰۰، توفان ۱۴ جولای ۲۰۰۰ رویداد روز باستیل، توفان ۲۸ اکتبر ۲۰۰۳ توفان‌های خورشیدی هالووین و توفان ۱۷ مارس ۲۰۱۵ رویداد روز سنت پاتریک) وضوح بیشتر ارتباطی را نشان می‌دهد. تفاوت در ارتباط سری‌های زمانی در مقایسه دوره‌های تجزیه و تحلیل قبل و بعد از توفان خورشیدی نسبت به توفان‌های خورشیدی با سیر کمتر (توفان ۷ ژانویه ۱۹۹۷ و توفان ۷ سپتامبر ۲۰۰۵) مشخص است. این نتیجه‌گیری با سایر مطالعاتی که وابستگی شدت رویدادهای خورشیدی با سلامت انسان را نشان می‌دهند، مطابقت می‌کند [۶].

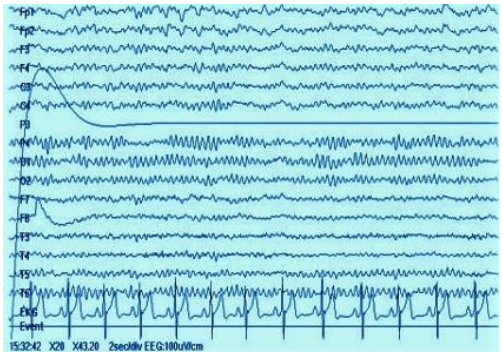
برای همه توفان‌های خورشیدی که در اینجا توضیح داده شد، می‌توان مشاهده نمود که تعداد روزانه مرگ و میر در گروه‌های تشخیص VI، بیماری‌های سیستم عصبی (G۰۰-G۹۹) با توجه به سن و جنس، از نظر ویژگی‌های آماری در بازه زمانی ۳۰ روز قبل از توفان خورشیدی و ۳۰ روز پس از توفان خورشیدی متفاوت است. برای گروه‌های سنی با تعداد کم مرگ و میر روزانه به دلیل ویژگی بیماری‌ها، نتایج قابل توجه نیست. در شکل ۲ نمونه‌هایی از ارتباط بین توفان‌های مغناطیسی و تعداد روزانه مرگ و میر ناشی از بیماری‌های سیستم عصبی نمایش داده شده است [۶].



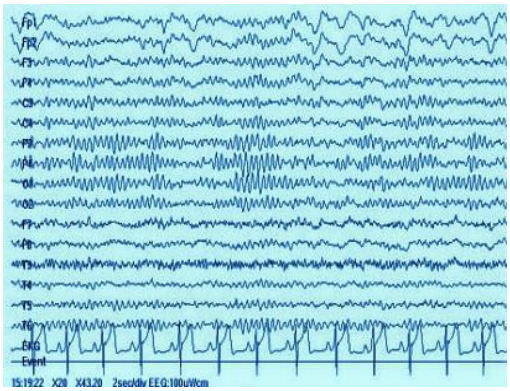
شکل ۲- تعداد روزانه مرگ و میر ناشی از بیماری‌های عصبی طی وقایع فوق العاده شدید خورشیدی (a) توفان ژئومغناطیس در ۷ ژانویه ۱۹۹۷ و (b) توفان کلاس G۴ در ۱۷ مارس ۲۰۱۵، رویداد روز سنت پاتریک [۶].

1. Leukemia
2. Solid Cancer
3. Acute Myocardial Infarction
4. Anterior Wall Myocardial Infarction
5. Language Independent Coding System

در مطالعه‌ی دیگر تاثیر توفان‌های ژئومغناطیسی بر روی سیستم یکپارچه مغز انسان مورد بررسی قرار گرفته‌است. برای این کار از روش هالتر با ثبت الکتروانسفالوگرافی[1](EEG) و روش بررسی حوزه رویشی[2] برای افراد سالم استفاده شد. آزمایشات در شرایط آرام و آشفته زمین مغناطیسی انجام گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که توفان‌های ژئومغناطیسی بر بدن انسان و فعالیت‌های عملکردی مغز تأثیر می‌گذارد، به‌ویژه که تعادل سیستم‌های همزمان و غیرهمزمان، ارگو[3] (فعالیت)-و مراکز رویشی بافتی تروفوتروفیک[4](استراحت)[5]را به‌صورت قسمتی[6]نقض می‌کند. اختلالات ژئومغناطیسی ممکن است وضعیت پس‌زمینه مغز را تغییر داده و کفایت واکنش را در عبور از حالت فعال مختل کند. این تغییرات به احتمال زیاد با اختلال عملکرد دستگاه مرکزی مغز همراه با تقویت سیستم‌های فعال‌کننده و نارسایی مکانیسم‌های بازدارنده مرتبط است. اختلال عملکرد، به نوبه خود، مراکز رویشی حفره‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد، که به دنبال آن عدم کفایت تأمین رویشی فعالیت‌های معمول را به دنبال دارد. روش‌های پیشگیری‌کننده که شامل درمان‌های پزشکی و روانشناختی (هشدارها، دارو، تمدد اعصاب فعال و غیره) است؛ گسترش یافته است. نه تنها سیستم عصبی مرکزی، بلکه سیستم عصبی رویشی انسان نیز به اختلالات ژئومغناطیسی بسیار حساس است. ثابت شده است که در توفان‌های مغناطیسی ضعیف و متوسط، روند تغییرات در بخش سمپاتیک سیستم عصبی رویشی تقویت می‌شود. فقط در برخی موارد و اغلب در مردان، تقویت روند تغییرات بخش پاراسمپاتیک سیستم عصبی رویشی مشاهده می‌شود. نمونه‌هایی از EEG مغز بیماران بزرگسال ثبت شده در دو روز آرام و آشفته از نظر زمین مغناطیسی را می‌توان در شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده کرد. لذا برای مقایسه، موردهایی ارائه شده که برای حالت‌های آرام ذهنی و آشفته ذهنی مورد آزمایش، منعکس کننده است. در شکل الکتروکاردیوگرام همزمان در پایین هر رکورد قرار دارد. در ستون سمت چپ ۱۶ سرنخ مربوطه(زمینه‌های مغزی)(EEG Fp1, Fp2,... ,T6) مشخص شده است. نتایج، افزایش دامنه ریتم آلفا و وجود اثرات موج کند را نشان می‌دهد [۲].



شکل ۳- EEG در یک روز بدون اختلال ژئو مغناطیسی (۱۸ ژانویه ۲۰۰۲) در حالت آرام روانی – جسمی فرد مورد آزمایش، ثبت شد [۲].



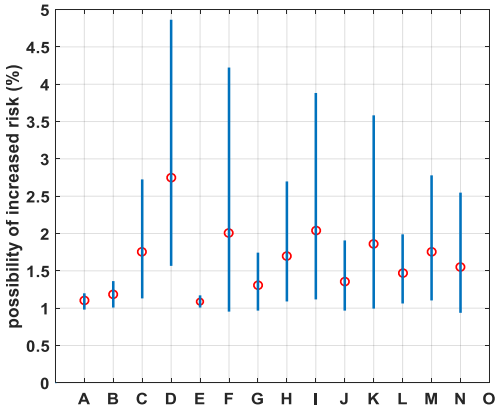
شکل ۴– EEG در روز اختلال ژئو مغناطیسی (۰۶ فوریه ۲۰۰۲) در حالت آرام روانی – جسمی فرد مورد آزمایش، ثبت شد [۲].

مطالعه‌ای برای بررسی ارتباط احتمالی بین تعداد روزانه سکته‌های انسدادی[7](ISs) و سکته‌های خونریزی[8](HSs) و پدیده‌های اقلیم فضا انجام گرفته‌است. تعداد روزانه ISها، خونریزی ساب آراکنوئید[9](SAHs) و خونریزی‌های داخل مغزی[10](ICHs) در طول دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ اطلاعات مربوط به بیماران ۲۵ تا ۶۴ ساله، از ثبت سکته مغزی در شهر کائوناس[11] به‌دست آمد. داده‌های ۵۹۷ بیمار مبتلا به SAH، ۱۱۴۷ بیمار مبتلا به ICH و ۷۴۸۲ بیمار مبتلا به IS تجزیه و تحلیل شده‌است. در شکل ۵ این ارتباطات نشان داده شده است و در جدول ۲ توضیحات مربوط به آن درج شده است [۹].

نتایج نشان می‌دهد که توفان‌های ژئومغناطیسی شدید (GSs)[12] با افزایش خطر SAH (تا ۵۸٪) و HS (تا ۳۰٪) همراه بود. فقط GS هایی که در ساعت ۶:۰۰ تا ۱۲:۰۰ UT رخ می‌دهند با خطر IS مرتبط هستند. فعالیت ژئومغناطیسی پایین (GMA) با

1. Electroencephalogram
2. Vegetative
3. Ergo
4. Trophotrophic
5. Braking
6. Episegmentary
7. Ischemic Strokes
8. Hemorrhagic Strokes
9. Subarachnoid Hemorrhages
10. Intracerebral Hemorrhages
11. Kaunas (شهر بزرگ لیتوانی)
12. Geomagnetic Storms

خطر ICH، HS و IS همراه بود. روزهای شراره‌های خورشیدی[1] (SF) کلاس ≤ X۹ با ۳۹٪ ریسک خطر بالای IS همراه بود. خطر وقوع HS در روز پس از حداکثر رویداد قوی/ شدید پروتون خورشیدی[2](SPE)بیش از دو برابر بود. این نتایج نشان داد که GSها، GMA بسیار پایین و SFها و SPEهای قوی‌تر با افزایش خطر ابتلا به انواع مختلف سکته مرتبط است. تجزیه و تحلیل اثرات GS در زمان‌های مختلف روز نشان داد که اثرات قوی‌تری از GS در دوره ۹:۰۰ –۶:۰۰ UT مشاهده شد. فقط GS در آن زمان نرخ بالاتری از IS داشت. GS ای که در ۱۸ –۶ رخ می‌دهد، تأثیر قویتری بر SAH داشت. علاوه بر این، GS که در ساعت ۲۱–۱۵ رخ می‌دهد، تأثیر قوی‌تری بر ICH داشت [۹].



شکل ۵– ارتباطات متغیری بین GS در زمان‌های مختلف (UT) و خطر سکته مغزی (نسبت نرخ با ۹۵٪ CI) [۹].

جدول ۲– توضیحات مربوط به شکل۵.

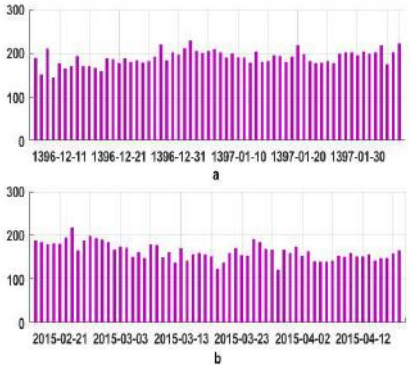
A	IS	Kp ≥ 5	06:00-09:00 UT
B	IS	Kp ≥ 6	
C	SAH		
D	SAH	Kp ≥ 7	
E	IS	Kp ≥ 5	09:00-12:00 UT
F	SAH	Kp ≥ 7	
G	SAH	Kp ≥ 5	12:00-15:00 UT
H	SAH	Kp ≥ 6	
I	SAH	Kp ≥ 7	
J	ICH	Kp ≥ 6	15:00-18:00 UT
K	SAH	Kp ≥ 7	
L	ICH	Kp ≥ 6	18:00-21:00 UT
M	ICH	Kp ≥ 7	
N	ICH	Kp ≥ 7	21-00 UT

در خصوص تاثیر اقلیم فضا بر خلق و خوی افراد، تأثیر توفان‌های ژئومغناطیسی (GMS) بر بازده بازار سهام جهان و کشورها مورد بررسی قرار گرفته‌است. برای شاخص جهانی و اکثر شاخص‌های بین المللی، سطوح غیرمعمول بالای فعالیت مغناطیسی در هفته گذشته آن، تأثیر منفی آماری و اقتصادی قابل توجهی بر بازده سهام امروز دارد. نتایج با نظریه‌های روانشناختی «عدم تبیین خلق و خو» مطابقت می‌کند، زیرا مشخص شده است که GMS بر قضاوت و رفتار افراد تأثیر منفی می‌گذارد [۲۵].

مخاطرات پدیده‌های خورشیدی بر قلب

مشابه تحقیقاتی که در زمینه مغز در مرجع [۶] انجام گرفت، بر روی بیماری‌های گردش خون نیز آزمایشاتی صورت پذیرفت. برای همه توفان‌های خورشیدی که در بخش قبل توضیح داده‌شده‌است، می‌توان مشاهده‌کرد که تعداد روزانه مرگ و میر در گروه‌های تشخیص IX، بیماری‌های سیستم گردش خون (I۹۹–I۰۰)، با توجه به سن و جنس، از نظر ویژگی‌های آماری در بازه زمانی ۳۰ روز قبل از توفان خورشیدی و ۳۰ روز پس از توفان خورشیدی متفاوت است. برای گروه‌های سنی با تعداد کم مرگ و میر روزانه به دلیل ویژگی بیماری‌ها، نتایج قابل توجه نیست. در شکل ۶ نمونه هایی از ارتباط بین توفان‌های مغناطیسی و تعداد روزانه مرگ و میر ناشی از بیماری‌های سیستم گردش خون نمایش داده شده است [۶].

مطالعات نشان می‌دهد که حداقل ۷۵ درصد از توفان‌های مغناطیسی به‌طور متوسط باعث افزایش ۱/۵ برابری تعداد افراد بستری در بیمارستان با بیماری‌های قلبی و عروقی می‌شود. بررسی خون بیماران آزمایش شده نشان داد که ویسکوزیته خون در توفان‌های مغناطیسی به شدت افزایش می‌یابد (در برخی موارد تقریباً دو برابر)، گلبول‌های قرمز چسبنده و جریان خون کند می‌شود. در نتیجه ثابت شده‌است که توفان‌های مغناطیسی خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی را افزایش می‌دهند [۲].

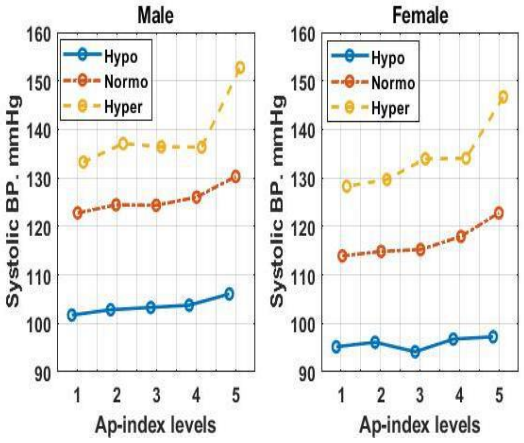


شکل ۶– تعداد روزانه مرگ و میر ناشی از بیماری‌های سیستم گردش خون طی وقایع فوق‌العاده شدید خورشیدی در سال‌های ۱۹۹۴–۲۰۱۵. (a) توفان ژئومغناطیس در ۷ ژانویه (۱۹۹۷) و (b) توفان کلاس G۴ در ۱۷ مارس ۲۰۱۵، رویداد روز سنت پاتریک [۶].

1. Solar Flare

2. Solar Proton Event

فشار خون و ضربان قلب ۸۶ داوطلب در روزهای کاری در پاییز ۲۰۰۱ و در بهار ۲۰۰۲ اندازه‌گیری شد. بررسی‌ها در شهر صوفیه بلغارستان (مختصات جغرافیایی: ۴۲°۴۲′ شمالی و ۲۳°۲۰′ شرقی) انجام گرفته است. این دوره‌ها به دلیل حداکثر فعالیت ژئومغناطیسی مورد انتظار انتخاب شدند. در مجموع ۲۷۹۹ ثبت به‌دست آمد و تجزیه و تحلیل شد. مانووا[1] برای بررسی اهمیت تأثیر سه عامل بر پارامترهای فیزیولوژیکی مورد بررسی استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، عوامل عبارتند از: (۱) سطح فعالیت ژئومغناطیس سیاره‌ای با شاخص A_P[2] برآورد شده که به پنج سطح تقسیم شده است. (۲) جنسیت – مردان و زنان ؛ (۳) درجه فشار خون افراد گروه مورد بررسی به چند گروه فشار خون پایین، فشار خون بالا و فشار خون نرمال تقسیم شدند [۲۶].

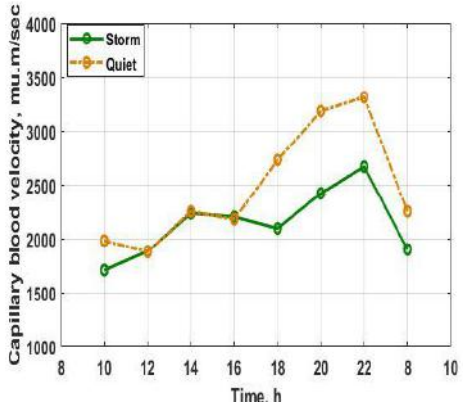


شکل ۷– اثر متقابل فاکتورهای شاخص Ap و جنسیت و میزان فشار خون بر SBP [۲۶].

توجه شود میانگین افزایش فشار خون سیستولیک و دیاستولیک گروه مورد بررسی به ۹ ٪ رسید. این تأثیر بدون توجه به جنسیت وجود داشت. نتایج به‌دست آمده فرض می‌کند که افراد با فشار خون بالا بیشترین حساسیت را دارند و افراد با فشار خون کم پایین‌ترین حساسیت فشار خون شریانی را مرتبط با افزایش فعالیت ژئومغناطیسی دارند. نتایج تغییرات قابل توجهی در ضربان قلب نشان نداد. همچنین درصد افرادی که شکایات ذهنی روانی را گزارش کرده‌اند با افزایش فعالیت ژئومغناطیسی به میزان قابل توجهی افزایش یافته و همچنین بالاترین حساسیت برای زنان با فشار خون بالا نشان داده شده است [۲۶].

فصل تأثیر چشمگیری بر مرگ و میر قلبی دارد. گزارش شده است که در زمستان مرگ و میر قلبی مردان در نروژ و ایرلند به ترتیب ۲۲٪ و ۳۱٪ و در زنان نروژی و ایرلندی به ترتیب ۲۴٪ و ۳۹٪ نسبت به تابستان افزایش می‌یابد. این مشاهدات، گزارش‌هایی مبنی بر کاهش سطح سرمی کلسترول و فشار خون مردان و زنان در مقایسه تابستان با زمستان را تایید می‌کند. همچنین مشاهده شده است که فشار خون سیستولیک و دیاستولیک با افزایش فاصله از خط استوا افزایش می‌یابد [۲۷].

همچنین تاثیر توفان ژئومغناطیسی (GS) بر روی سیستم قلبی عروقی انسان و گردش خون در شرایط آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفت. داوطلبان سالم در حالت خوابیده تحت دو شرایط مصنوعی آرام (Q)[3] و توفانی (S)[4] قرار گرفتند. دسته Q یک میدان مغناطیسی[5](MF) بدون نویز را ایجاد می‌کند که به شرایط جغرافیایی مغناطیسی طبیعی در عرض جغرافیایی مسکو نزدیک است. دسته S توفان ۶ ساعته زمین مغناطیسی ثبت شده را ایجاد می‌کند که چهار بار متوالی تکرار می‌شود. پاسخ قلبی عروقی به تأثیر GS با اندازه گیری سرعت خون مویرگی (CBV)[6] و فشار خون[7](BP) با تجزیه و تحلیل ثبت ECG[8] ۲۴ ساعته ارزیابی شد. نسبت وضعی‌ت توفانی به وضعیت آرام برای فواصل کاردیو (CI)[9] و تنوع ضربان قلب (HRV)[10] به منظور آشکار شدن میانگین تفاوت‌های معنی دار HRV مورد مقایسه قرار گرفت. همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌گردد، CBV و فشار خون تحت تاثیر شرایط اختلالی ژئومغناطیسی قرار می‌گیرند و تغییر می‌کنند [۲۸].



شکل ۸– در منحنی‌های این نمودار دینامیک CBV ارائه شده است. هر یک از هشت نقطه مربوط به میانگین ۲ ساعته در طول روز قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی است. آخرین نقطه اندازه گیری صبح روز بعد است [۲۸].

همچنین نتایج اثرات فعالیت خورشیدی[11](SA) و فعالیت ژئومغناطیسی (GMA) بر مرگ ناگهانی قلبی[12](SCD) در عرض‌های میانی شرح داده شد. داده‌های پزشکی از تمام ایستگاه‌های اورژانس و کمک‌های اولیه پزشکی در منطقه بزرگ باکو با میلیون‌ها نفر برای دوره زمانی

1. MANOVA
۲ . این شاخص یک معادل جهانی از دامنه روزانه است و اندازه اختلالات ژئومغناطیسی را در فواصل ۲۴ ساعته نشان می‌دهد.
3. Quiet
4. Storm
5. Magnetic Field
6. Capillary Blood Velocity
7. Blood Pressure
۸ . نوار قلبی
9. Cardio Intervals
10. Heart Rate Variability
11. Solar Activity
12. Sudden Cardiac Death

۲۰۰۳–۲۰۰۵ گرفته شد. در مجموع ۷۸۸ مورد SCD مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان دهنده رابطه‌ای بین میانگین ماهانه GMA و SCD در باکو برای دوره مورد نظر است. نشان داده شد که تعداد SCD در روزهای کم GMA و در روزهای بیشترین تغییرات میدان ژئومغناطیسی و حتی در روز دوم پس از آن‌ها، بیشترین بود. ثابت شد که SCDها در روزهای توفان ناشی از جریان‌های باد خورشیدی با سرعت بالا[1](HSSWS) افزایش می‌یابند و از روز دوم به بعد، پس از اتمام توفان بالاتر می‌مانند. در جدول ۳ ارتباط روزهای توفانی و SCD نمایش داده شده است [۲۹].

جدول ۳- ارتباط روزهای توفانی و SCD [۲۹].

سطح-GMA	روز	SCD
GMA آرام	۹۵۱	۶۸۹
توفان ناشی از HSSWS	۹۵	۷۲
توفان ناشی از MC[2]	۵۰	۲۷

تأثیر پدیده‌های خورشیدی بر نرخ تولد

در رابطه با تاثیر اقلیم فضا بر زاد و ولد عنوان شده است که طول عمر انسان به فعالیت‌های خورشیدی در دوران رشد قبل از تولد مربوط است. مکانیسم اصلی احتمالی این ارتباط، افزایش تشعشعات ماوراءبنفش (UVB) جهش‌زا در طول فعالیت زیاد خورشیدی است که به DNA آسیب می‌رساند. یافته‌های گذشته نشان می‌داد که طول عمر افراد متولد شده در طول سال‌های فعالیت زیاد خورشیدی که با تعداد لکه‌های خورشیدی اندازه‌گیری می‌شود، کاهش یافته‌است. داده‌های مرتبط با امید به زندگی گروهی سالانه در بدو تولد زنان و مردان متولد ۱۷۵۱ تا ۱۹۱۵، که از ده کشور عمدتا اروپایی است. این داده‌ها هیچ مدرکی مبنی بر اینکه طول عمر انسان در هنگام تولد با فعالیت خورشیدی در دوران بارداری در بین کشورهای مورد مطالعه مرتبط است، ارائه نکردند [۳۰].

در مطالعه دیگری در باب تاثیرات اقلیم فضا بر نرخ تولد آورده شده‌است که اشعه ماوراءبنفش (UVR) می‌تواند مکانیسم‌های مولکولی و سلولی ضروری را در مراحل اولیه رشد موجودات زنده سرکوب کند و تغییرات فعالیت خورشیدی در مراحل اولیه رشد ممکن است بر سلامت و تولید مثل آنها تأثیر بگذارد. اگرچه پیامدهای نهایی UVR بر موجودات آبزی در اوایل زندگی به خوبی شناخته شده است، مطالعات مشابه بر روی مهره‌داران خشکی، از جمله انسان‌ها، محدود باقی مانده‌است. با استفاده از داده‌های مربوط به تغییرات زمانی در تعداد لکه‌های خورشیدی و داده‌های جمعیت شناختی مبتنی بر فرد در نروژ بین ۱۶۷۶ و ۱۸۷۸، در حالی که وضعیت مادر، وضعیت اقتصادی اجتماعی، گروه و اکولوژی کنترل می‌گردد، نشان داده می‌شود که فعالیت خورشیدی (کل تابش خورشید) در هنگام تولد، احتمال زنده ماندن در بزرگسالی برای مردان و زنان را کاهش می‌دهد. به‌طور متوسط، طول عمر افرادی که در حداکثر دوره خورشیدی متولد شده‌اند ۵/۲ سال کوتاهتر از کسانی است که در حداقل دوره خورشیدی متولد شده‌اند. علاوه بر این، باروری و موفقیت باروری مادام‌العمر[3](LRS) در بین زنان با وضعیت اقتصادی پایین که در سال‌هایی با فعالیت زیاد خورشیدی متولد شده بودند، کاهش یافت. توضیح تقریبی رابطه بین فعالیت خورشیدی و مرگ و میر نوزادان ممکن است ناشی از تجزیه فولات (ویتامین B) در دوران بارداری ناشی از UVR باشد. فولات برای سنتز DNA و برای حفظ اپی‌ژنوم مورد نیاز می‌باشد و بنابراین برای رشد افراد سالم و بارور در دوران بارداری ضروری است. کمبود فولات در دوران بارداری با عوارض و مرگ و میر بالاتری همراه است و از این‌رو، افزایش تخریب فولات در دوره‌های حداکثر خورشیدی می‌تواند منجر به کمبود فولات در زنان باردار و در نتیجه به عنوان عامل کاهش بقای کودکان و از دست دادن جنین شود.

نتایج نشان می‌دهد که فعالیت خورشیدی در بدو تولد ممکن است عواقبی بر عملکرد عمر انسان در داخل و بین نسل‌ها داشته باشد. به‌طور متوسط، طول عمر زنان و مردان متولد شده در یک دوره حداکثر خورشیدی به ترتیب ۵/۱ و ۵/۳ سال کمتر از زنان و مردان متولد شده در یک دوره حداقل خورشیدی بود، نتیجه‌ای که با یافته‌های قبلی مطابقت دارد [۳۱].

مطالعه دیگری رابطه بین نوسانات فعالیت فیزیکی محیطی و چندین جنبه از رشد جنین را توصیف کرده‌است. این مطالعه اثرات احتمالی پارامترهای کیهان‌فیزیکی بر جنسیت نوزاد، وضعیت کلی و سن مادر را بررسی کرد. توزیع جنسیتی ۱۲۳۳۶۸ نوزاد متولد شده در یک دوره ۱۸۹ ماهه (نوامبر ۱۹۹۳ تا ژوئیه ۲۰۰۹) در برابر سطوح فعالیت پرتوهای خورشیدی، ژئومغناطیسی و کیهانی در زمان لقاح مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایجی که از داده‌های فیزیکی مراکز علوم فضایی در ایالات متحده آمریکا، روسیه و فنلاند به دست آمد، نشان داد که نسبت مرد به زن برای کل گروه در طول دوره مطالعه ۱/۰۶ بود. توزیع جنسیتی در سه گروه سنی مادر تا حدی با عوامل فیزیکی مختلف مرتبط بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که فعالیت فیزیکی محیطی در ماه لقاح ممکن است در جنسیت نوزاد نقش داشته باشد. مطالعات بیشتری برای تعیین مکانیسم زیربنایی این اثر مورد نیاز است. علاوه بر عوامل ژنتیکی شناخته شده موثر بر رشد جنین، مطالعات متعددی که در دهه‌های گذشته منتشر شده‌اند، تأثیر بالقوه نوسانات در فعالیت فیزیکی محیطی (خورشید، ژئومغناطیسی، پرتوهای

1. High-Speed Solar Wind
2. Magnetic Clouds
3 . Lifetime Reproductive Success

کیهانی) را بر جنبه‌های فیزیولوژیک و پاتولوژیک بارداری و رشد جنین در نظر گرفته‌اند [۳۲].

دهه‌های اخیر شاهد رمزگشایی ژنوم انسان و هم‌چنین پیشرفت در مطالعات مربوط به اثرات اقلیم فضا بر انسان بوده است. پیشرفت در ژنتیک به ما اجازه می‌دهد تا بسیاری از آسیب‌شناسی‌های انسانی را با ناهنجاری‌های ژنی خاص مرتبط کنیم. به‌طور همزمان نشان داده شده است که بسیاری از بیماری‌های مادرزادی و زمان مرگ با عوامل فضایی مانند فعالیت خورشیدی (SA)، فعالیت ژئومغناطیسی (GMA)، فعالیت پرتوهای کیهانی و نوترون فضایی و شار[1] پروتون مرتبط هستند. در اینجا این سوال مطرح می‌شود که بیان ژن تا چه حد تحت تأثیر پارامترهای فعالیت فیزیکی فضایی ذکر شده قرار می‌گیرد. در نتیجه، زمان‌بندی مرتبط با اقلیم در بسیاری از رویدادهای پزشکی این فرض را ایجاد می‌کند که فعالیت ژن یک پدیده در حال تغییر است و اجزای اقلیم فضا ممکن است نقش تنظیم‌کننده‌ای در این تغییرات بازی کنند [۳۳].

در ادامه بررسی روی همبستگی بین میزان تولد بیماران ام اس و دو شاخص ژئومغناطیسی، لکه‌های خورشیدی و شاخص A انجام شد. داده‌های میزان تولد از یک پایگاه داده بالینی بیماران ساکن در منطقه‌ای نزدیک به عرض جغرافیایی ۶۰ درجه شمالی از ۱۹۲۰ تا ۱۹۸۰ استخراج شد. نتایج نشان داد که شدت اختلالات ژئومغناطیسی، همان‌طور که با شاخص A اندازه‌گیری می‌شود، نسبت به تعداد لکه‌های خورشیدی رابطه قوی‌تری با میزان تولد افراد مبتلا به ام اس دارد. به‌طور کلی، شاخص‌های A همبستگی کوچک تا متوسطی با میزان تولد افراد مبتلا به ام اس، بر حسب جنسیت داشتند. با افزایش مدت قرار گرفتن در معرض اختلالات، همبستگی‌ها قوی‌تر شد. یعنی قرار گرفتن در معرض اختلالات در اوایل دوران کودکی (سال تولد + ۳ سال) و در طول دوران کودکی (سال تولد + ۱۲ سال) به‌طور کلی همبستگی‌های بالاتری را نشان داد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که اختلالات ژئومغناطیسی ممکن است یک عامل خطر در ایجاد ام اس باشد [۳۴].

تاثیر پدیده‌های اقلیم فضا بر بیماری سرطان

در رابطه با تاثیر توفان‌های مغناطیسی به عنوان عامل ایجاد سرطان می‌توان اشاره کرد که تشعشعات در مدت زمان کم هیچ اثر حاد و کوتاه مدتی ایجاد نمی‌کنند. اما افرادی که در معرض خطر تشعشعات قرار می‌گیرند، در طول عمر خود کمی بیشتر از دیگران در معرض عوارض تصادفی مانند سرطان قرار می‌گیرند. آستانه اثرات حاد بیشتر از یک مرتبه است. اما دریافت فردی ۱۵۰ میلی سیورت[2]، خطر ابتلا به سرطان‌کشنده را در طول زندگی حدود ۱ ٪ افزایش می‌دهد. افزایش دوزهای تشعشعی انباشته شده بر خدمه هواپیما و مسافران، احتمالاً باعث افزایش اندک خطر ابتلا به سرطان در طول عمر می‌شود [۳۵].

مسافران و خدمه در زمان وقوع یک حادثه شدید در معرض دوز اضافی تشعشع قرار می‌گیرند که حداکثر تا ۲۰ mSv تخمین زده می‌شود. این میزان، به‌طور قابل توجهی بیش از حد مجاز ۱ mSv سالانه برای عموم مردم به‌منظور قرار گرفتن در معرض تشعشع است و همین‌طور حدود سه برابر دوز دریافتی از سی تی اسکن قفسه سینه می‌باشد. چنین سطوحی مستلزم افزایش خطر ابتلا به سرطان ۱ در ۱۰۰۰ برای هر فرد در معرض خطر است، اگرچه این امر باید در زمینه ریسک ابتلا به سرطان در طول زندگی، که حدود ۳۰٪ است، در نظر گرفته شود. دوز موثر، دوز جذب شده حساسیت به پرتو برای هر اندام و نوع/انرژی تابش است. دوز موثر در سیورت (Sv) اندازه‌گیری می‌شود و احتمال سرطان و اثرات ارثی به‌طور خطی با دوز موثر ارتباط دارد. افزایش دوز بیش از ۱ Sv منجر به افزایش ۵/۵٪ در ریسک ابتلا به سرطان کشنده در طول عمر می‌شود [۳۶].

در واقع تاثیر توفان‌های مغناطیسی بر ایجاد سرطان را می‌توان به عنوان یک افزایش‌دهنده‌ی ریسک ابتلا و نه عامل آن در نظر گرفت.

مخاطرات پدیده‌های خورشیدی بر زیست حیوانات

در رابطه با تاثیر توفان‌های مغناطیسی بر حیوانات در ابتدا می‌توان اشاره کرد که برخی از ماهی‌ها، پرندگان و پستانداران دارای اندام‌هایی برای تشخیص ژئومغناطیس هستند که در نزدیکی اندام‌های بویایی قرار دارند. به‌عنوان مثال کبوترهای حامل و دلفین‌ها به‌طور یکسان بر تشخیص میدان مغناطیسی زمین متکی هستند. به‌طور نمونه، در یک مسابقه کبوترهای حامل به دلیل توفان بزرگ ژئومغناطیسی گم شدند. امروزه چنین مسابقاتی با توجه به پیش‌بینی‌های اقلیم فضا برنامه‌ریزی می‌شود [۳۷]. در نتیجه یک اثر قابل قبول تغییرات میدان ژئومغناطیسی، کاهش توانایی ناوبری کبوتر در توفان‌های ژئومغناطیسی است. کبوترها و سایر حیوانات مهاجر مانند دلفین‌ها و نهنگ‌ها دارای قطب نمای بیولوژیکی داخلی هستند که از ماده معدنی مگنتیت پیچیده شده در بسته‌های سلولی عصبی تشکیل شده است [۳۸].

به گل نشستن انبوه نهنگ‌ها اغلب مستند شده است، اما علل و مکانیسم‌های اساسی آن‌ها نامشخص است. دلایل احتمالی این پدیده بر اساس مجموعه‌ای از دسته‌های ۲۹ نهنگ اسپرم نر، عمدتا

1. Flux

۲. سیورت (نماد: Sv) یک واحد مشتق شده از دوز تشعشع یونیزه‌کننده در سیستم بین‌المللی واحدها (SI) است و معیاری از تأثیر سلامتی سطوح پایین تابش یونیزان بر بدن انسان است.

مجرد (فیستر ماکروسفالوس)[1] در جنوب دریای شمال در اوایل سال ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفته است. حس مغناطیسی نهنگ‌ها ممکن است نقش مهمی در جهت‌گیری و مهاجرت داشته باشد و بنابراین ممکن است توفان‌های ژئومغناطیسی باعث ایجاد انحراف شوند. این رویکرد توسط موارد زیر پشتیبانی می‌شود: (۱) اختلالات میدان مغناطیسی زمین توسط توفان‌های خورشیدی می‌تواند حدود ۱ روز طول بکشد و منجر به تغییرات عرض جغرافیایی مغناطیسی کوتاه مدت شود که مربوط به جابه‌جایی تا ۴۶۰ کیلومتر است. (۲) بسیاری از این اختلالات به اندازه ناهنجاری‌های ژئومغناطیسی دائمی‌تر هستند. (۳) ناهنجاری‌های ژئومغناطیسی در ناحیه شمال دریای شمال ۵۰ تا ۱۵۰ کیلومتر قطر دارند. (۴) نهنگ‌های اسپرم حدود ۱۰۰ کیلومتر در روز شنا می‌کنند و بنابراین ممکن است نتوانند بین این پدیده‌ها تمایز قائل شوند [۳۹].

در مطالعات با زنبورهای بدون نیش شوارزیانا کوادریپانکتاتا[2] مشاهده شد که جهت پرواز خروجی از لانه در توفان‌های ژئومغناطیسی (تغییرات دامنه حدود ۵۰nT) به‌طور قابل توجهی تغییر می‌کند. هنگامی که توفان ژئومغناطیسی شبیه‌سازی شد، همین رفتار در زنبور بی‌نیش تتراگونیسکا انگاستولا[3] مشاهده گردید [۴۰].

مطالعات تجربی روی خرگوش ها نشان داده است که قرار گرفتن در معرض توفان‌های مغناطیسی منجر به تغییرات قابل توجهی در وضعیت مورفولوژیکی[4] و عملکردی قلب و سیستم‌های مرتبط با فعالیت‌های آن می‌شود [۴۰]. زیرساخت سلول‌های قلبی خرگوش در مقایسه با آنچه معمولاً در شرایط آرام ژئومغناطیسی مشاهده می‌شود در همزمانی با توفان‌های مغناطیسی شدید به شدت تغییر کرده است. ویژگی‌های شبانه روزی فشار سیستولیک و متوسط در بطن چپ و راست خرگوش چینچیلا[5] مورد بررسی قرار گرفت و بین شرایط مغناطیسی آرام و توفانی مقایسه شد. مطالعات میکروسکوپی الکترونی بر روی خرگوش‌ها نشان داده‌است که توفان‌های مغناطیسی نیز با تغییرات شدید در زیرساخت‌های کاردیومیوسیتها[6] مرتبط هستند. نه تنها ساختار میوکارد به شدت تغییر کرد، بلکه ریتم شبانه روزی در فشار سیستولیک و میانگین آن در قلب خرگوش نیز تغییر فاز داد [۴۱].

مخاطرات پدیده‌های خورشیدی بر محیط فضا

همان‌طور که قبلا بیان شد، خورشید نه تنها به‌طور مداوم گرما و نوری را آزاد می‌کند که برای حفظ قابلیت سکونت زمین ضروری است، بلکه گاهی اوقات مقدار زیادی ذرات پرانرژی را که برای سلامت انسان و تجهیزات موجود در فضا خطرناک است، تخلیه می‌کند. برای مثال، رویدادهای ذرات خورشیدی (SPEs)، زمانی اتفاق می‌افتند که پروتون‌های ساطع شده از خورشید یا در نزدیکی خورشید در طی یک شراره یا در فضای بین سیاره‌ای توسط شوک‌های پرتاب جرم تاجی (CME) شتاب می‌گیرند. این رویدادها می‌تواند شامل هسته‌های دیگری مانند یون‌های هلیم و یون‌های بسیار باردار (Z) و پرانرژی (E) باشد. در طول یک SPE بزرگ، جریان پروتون‌ها با انرژی بیش از ۳۰ مگا الکترون ولت می‌تواند در چند ساعت یا روز از $۱۰^{۱۰} cm^{-۲}$ فراتر رود، که می‌تواند دوزهای تشعشع زیادی را برای خدمه و تجهیزاتی که به اندازه کافی محافظت نمی‌شوند، در بر داشته باشد [۴۲].

پدیده‌های اقلیم فضا بر گستره وسیعی از زیرساخت‌ها و تجهیزات اعم از فضایی و زمینی تاثیر می‌گذارند. سامانه‌ها و سرویس‌های مخابرات ماهواره‌ای، ناوبری هوایی، ناوبری فضایی، کنترل و توزیع شبکه‌های برق، مخابرات فرکانس بالا، پخش رادیو تلویزیونی امواج کوتاه و رادارهای مراقبتی و نظارتی از جمله آسیب پذیرترین بخش‌ها به‌شمار می‌آیند. از سوی دیگر تاثیر بر کاوش‌های ژئوفیزیکی، کاوش‌های فضایی سرنشین دار و هم‌چنین افزایش درگ ماهواره‌ها و پسماندهای فضایی از جمله آثار زیان بار پدیده‌های اقلیم فضا است که ریسک‌های خاص خود را به‌همراه دارد. درباره زیرساخت‌های زمینی یکی از خسارت‌بارترین نمونه قطع سراسری شبکه انتقال برق در مارس ۱۹۸۹ در ایالت کبک بود. رخدادهایی که در بازه اکتبر تا نوامبر ۲۰۰۳ اتفاق افتاد، بیش از ۸۰٪ ماموریت‌های فضایی تحت تاثیر قرارگرفتند که بیش از ۴۰٪ آنها ناگزیر شدند تا همه یا برخی از تجهیزات خود را خاموش و سرویس‌های مرتبط را قطع کنند یا آنکه راه‌کارها و روندهای حفاظتی را در پیش گیرند. در این میان یک ماهواره به‌طور کامل از دست رفت و چندین تجهیزات ماهواره‌های مختلف دچار آسیب شدند [۱۳].

در زمینه هوانوردی، عوامل مهمی که می‌تواند تحت تأثیر اقلیم فضا قرار گیرد، ارتباطات، اختلال در قطعات الکترونیکی هواپیما، موقعیت‌یابی و دوز قرار گرفتن اعضای خدمه است. اختلالات یونوسفر مانند توفان‌های مثبت یونوسفر و حباب‌های پلاسما باعث افزایش خطاهای محدوده‌یابی و کاهش دقت موقعیت‌یابی می‌شود. علاوه بر این، اختلالات یونوسفر تعداد ماهواره‌های قابل استفاده و دقت موقعیت‌یابی را کاهش می‌دهد. در ماهواره خطر شارژ/تخلیه سطحی در محیط پلاسمایی اطراف یک ماهواره با فعالیت مگنتوسفر مرتبط با توفان فرعی افزایش می‌یابد. این خطر در طول مرحله کاهش فعالیت خورشیدی افزایش می‌یابد. هم‌چنین، خطر شارژ/تخلیه سطحی به ساختار و مواد هر ماهواره بستگی دارد. علاوه بر

1. Physeter Macrocephalus
2. Schwarziana Quadripunctata
3. Tetragonisca Angustula
4. Morphological
5. Chinchilla

۶ . عضله کاردیاک بسیار سازمان یافته است و حامل انواع متعددی از سلول شامل فیبروبلاست‌ها، سلول‌های عضلانی نرم، و کاردیومیوسیت‌ها است.

این، اقلیم فضا باعث خراب شدن سلول‌های خورشیدی، اختلال در مدار و وضعیت به دلیل کشش اتمسفر و خرابی در ارتباطات فضایی می‌شود [۱۶].

قرارگرفتن فضانوردان در معرض اشعهٔ کیهانی باعث بروز اثرات قطعی و غیر قطعی پرتوها می‌شود. اقامت در حالت بی‌وزنی، موجب پوکی استخوان می‌شود و فعالیت خون‌سازی و سیستم ایمنی بدن را تغییر می‌دهد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که تراکم پلاکت‌ها تغییر می‌کند و بی وزنی و تابش فضایی باعث کاهش تراکم پلاکت‌ها می‌شود. این کاهش بر اثر تابش‌های فضایی و اثر بی‌وزنی حدود ۱/۶٪ و در حالت تابش فضایی ۱/۳٪ می‌باشد که با داده‌های واقعی مطابقت دارد؛ بنابراین، برای سفرهای طولانی در فضا علاوه بر سایر موارد ضروری پزشکی، باید کاهش پلاکت‌های خون را نیز در نظر گرفت [۴۳].

قرار گرفتن در معرض تابش ناشی از رویدادهای ذرات خورشیدی (SPEs) یک نگرانی سلامتی قابل توجه برای فضانوردان به‌منظور مأموریت‌های اکتشافی خارج از حفاظت میدان مغناطیسی زمین است که می‌تواند عملکرد آنها را مختل کند و منجر به شکست احتمالی ماموریت شود. ارزیابی دقیق تأثیر SPEها بر مأموریت‌های اکتشافی انسانی به دلیل درک ناقص بسیاری از فرآیندهای فیزیکی در طول وقوع SPEها همچنان یک چالش است [۴۲].

این خطرات محدودیت‌های عملیاتی قابل توجهی را بر ماموریت‌ها و تجهیزات فضایی سرنشین‌دار تحمیل می‌کند، به عنوان مثال، محافظ‌های توفانی با حفاظت کافی برای کاهش دوز تشعشع به سطوح قابل تحمل برای فضانوردان مورد نیاز است و تجهیزات حساس به چنین ذرات با انرژی بالا باید خاموش شوند تا از خطاهای نرم[1]جلوگیری شود. آسیب تشعشع در چند دهه گذشته، پیشرفت اکتشافات فضایی دانشمندان را قادر می‌سازد تا از فضاپیماهای متعدد مستقر در مکان‌های مختلف هلیوسفر، برای مطالعه رابطه شدت و طیف SPE با پارامترهای قابل اندازه‌گیری شوک، پلاسما، جمعیت ذرات[2]و توزیع فضایی آنها استفاده کنند. که این امر درک انسان را از شرایط مکان، زمان، چگونگی و چرایی شتاب ذرات در این رویدادهای استثنایی را بسیار بهبود می‌بخشد [۴۲].

برای ارزیابی خطر تشعشع حاد ناشی از قرار گرفتن در معرض SPE، ناسا یک کد پیش‌بینی خطر ایجاد کرده است. در این بسته نرم‌افزاری برخی از SPEهای شدید تاریخی با کد انتقال BRYNTRN[3] تجزیه و تحلیل می‌شوند. تکنیک‌های ردیابی پرتو با مدل‌های فرضی[4] انسانی، به‌طوری که بتوان کمیت دوزیمتریک[5] برای اندام‌های مختلف فضانوردان را در طول انتقال و در سطوح سیاره‌ای برای مأموریت‌های ماه یا مریخ به‌دست آورد نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. اگر فضانوردان با یک رویداد SPE مواجه شدند، دوزهای اندام حاصل برای تخمین شدت اثرات احتمالی بیماری تشعشع حاد[6](ARS) مانند اثرات پیش‌درآمد شامل تهوع، استفراغ، خستگی و ضعف استفاده می‌شود. برنامه‌ریزان ماموریت ناسا، طراحان محافظ تشعشعی، حامیان عملیاتی و محققان بیوفیزیک فضایی می‌توانند از این ابزار برای درک اثرات قطعی بالینی مهم سلامتی و هم‌چنین تخریب عملکرد فضانوردان در هنگام پرواز، از قرار گرفتن در معرض SPEهای بزرگ استفاده کنند [۴۲].

دستیابی به اهداف ارتباط ریسک در چارچوب استاندارد تشعشعات فضایی ناسا مستلزم فهم ریسک‌ها و استانداردها و چگونگی درک و تفسیر فضانوردان از خطرات، استانداردهای مرتبط و هم‌چنین ارتباطات رسمی و غیررسمی در مورد آن‌ها است. ناسا جدول ۴ را برای برقراری ارتباط با استاندارد پیشنهادی، طراحی کرد. مخاطبان اصلی این جدول فضانوردان ناسا هستند [۴۴].

جدول ۴- سیستم پیشنهادی ناسا برای اطلاع‌رسانی حد مجاز قرار گرفتن در فضای پیشنهادی برای استاندارد قرار گرفتن در معرض تشعشعات پروازهای فضایی [۴۴].

آستانه قرار گرفتن در معرض کنترل خطر (دوز موثر)	ارتباط ریسک REID / REIC	توضیح ریسک / دلیل
قرار گرفتن در معرض، از نظر شغلی دوز موثر > 600 mSv و/یا > 250 mSv در ۳۰ روز	ریسک بالا – مستلزم چشم پوشی ازاین REID ≥ ۲٪/۷ میانگین (۰/۶ و ۰/۸٪) ۹۵٪ CI برای یک زن ۳۵ ساله ≥ ۱٪/۵ میانگین (۰/۳ و ۰/۵٪) ۹۵٪ CI برای یک مرد ۵۵ ساله	نیاز به چشم پوشی از استاندارد توسط آژانس. ملاحظات ضروری مبنی ارزیابی فردی ارائه خواهد شد که جنسیت و سن را در نظر بگیرد.
قرار گرفتن در معرض، از نظر شغلی دوز موثر > ۶۰۰ mSv دوز موثر < ۳۰۰mSv ۶۰۰ mSv> و/یا < ۲۵۰ mSv در ۳۰ روز	ریسک متوسط – ارزیابی فردی ارزیابی فردی ارائه خواهد شد که جنسیت و سن را در نظر بگیرد. نمونه ارزیابی های فردی در ۶۰۰ mSv : زن ۳۵ ساله: REID ۳٪/۷ میانگین ۹۵٪ CI (۰٪/۶ و ۰٪/۸) REIC ۵٪/۹ میانگین ۹۵٪ CI (۱٪/۴ و ۱٪/۷) مرد ۵۵ ساله: REID ۱٪/۵ میانگین ۹۵٪ CI (۰٪/۳ و ۰٪/۵) REIC ۳٪ میانگین ۹۵٪ CI (۰٪/۷ و ۰٪/۸)	سطح متوسط قرار گرفتن در این آستانه، یک ارزیابی فردی برای اطمینان از ارتباط مؤثر ریسک و در نظر گرفتن هرگونه شرایط بهداشتی کاهش‌دهنده ارائه می‌شود. پیش‌بینی می‌شود که تمام فضانوردان فعال ناسا واجد شرایط ماموریت‌های این گروه ریسک باشند.
قرار گرفتن در معرض، از نظر شغلی دوز موثر < ۳۰۰ mSv و/یا < ۲۵۰ mSv در ۳۰ روز	ریسک پایین – ارزیابی ریسک عمومی ریسک اعلام شده به همه REID: ≥ ۱٪/۶ میانگین (۰/۳٪ و ۰/۴٪) CI ۹۵٪ افزایش ۱٪/۶ REID بالاتر از ریسک پس زمینه جمعیت ۱۴٪ میانگین REID . REIC: ≥ ۳/۴٪ میانگین (۰/۸٪ و ۱٪) CI ۹۵٪ افزایش ۳/۴٪ REIC بالاتر از خطر پس زمینه جمعیت ۲۸٪ میانگین REIC.	سطح کم قرار گرفتن ارزیابی فردی را تضمین نمی کند. از محاسبه REID / REICزن ۳۵ ساله برای ارتباط ریسک استفاده می کند.

نیاز به محافظت آژانس — ارزیابی ریسک فردی مورد نیاز است — ارزیابی ریسک عمومی — افزایش ریسک

1. Soft Errors
2. Seed Population
3. Transport Code
4. Phntom
5. Dosimetric
6. Acute Radiation Sickness

اقدامات پیشگیرانه سلامت در برابر مخاطرات اقلیم فضا

با توجه به بررسی‌هایی که در مورد تاثیرات اقلیم فضا بر سلامت جسم و روان انسان انجام پذیرفت، مواردی جهت ادامه موضوعات پژوهشی و هم‌چنین تحقیق و تفحص بیشتر جلب توجه می‌کند. در خصوص تاثیر اقلیم فضا بر سلامت جسم و بروز سکته‌های قلبی، سکته‌های مغزی و بستری‌های روانی در هنگام توفان‌های مغناطیسی و افزایش فعالیت‌های مغناطیسی زمین، گزارش‌هایی در عرض‌های مختلف جغرافیایی و کشورهای مختلف ارائه شده است. نبود چنین اطلاعاتی و تجزیه و تحلیل آن‌ها در کشورمان بسیار احساس می‌شود. در همین راستا، بسیار مهم و کاربردی است که چنین اطلاعاتی در خصوص افزایش آمار بستری‌ها و سکته‌های قلبی و مغزی در هنگام وقوع توفان مغناطیسی در کشورمان گردآوری شود.

این اطلاعات می‌تواند با تخمین و بررسی وجود چنین نرخ افزایشی در بروز بیماری‌ها، بستری برای پیشگیری و یا کنترل چنین مواردی باشد. در صورت افزایش نرخ بیماری‌ها در مواقع افزایش فعالیت خورشیدی و یا توفان‌های مغناطیسی، می‌توان راه‌کارهایی برای کاهش بروز سکته‌ها و بستری‌ها، مانند ایجاد آمادگی قبلی برای تیم‌های اورژانسی و اخطار به مردم برای خود مراقبتی بیشتر در نظر گرفت.

یکی از اولین فعالیت‌ها در این زمینه می‌تواند پایه‌ریزی و ایجاد سیستم مرکزی برای جمع‌آوری و مقایسه اطلاعات پزشکی افراد در ایران باشد، پس از آن گسترش و رواج مطالعات هلیوبیولوژیکی و هم‌چنین ارتباط و مقایسه اطلاعات در سطح بین‌المللی می‌تواند راهگشا باشد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تاثیرات اقلیم فضا بر محیط زیست، سلامت انسان و محیط فضایی بررسی شد. از اثراتی که تغییرات اقلیم فضا بر انسان می‌گذارد و تحقیقات درستی آنها را نشان می‌دهد، می‌توان موارد متعددی را نام برد، مانند: افزایش شدت بیماری در روزهای توفان مغناطیسی در بیماران، افزایش فشار خون در افراد سالم و تأخیر در پاسخ بیولوژیکی احتمالی برای ۰ تا ۴ روز پس از شروع توفان. مطالعه و بررسی مقالات اثرات اقلیم فضا بر موجودات زنده، مخصوصا انسان‌ها نشان می‌دهد که برای همه توفان‌های خورشیدی تعداد روزانه مرگ و میر در بیماری‌های سیستم عصبی و بیماری‌های سیستم گردش خون، با توجه به سن و جنس، از نظر ویژگی‌های آماری در بازه زمانی ۳۰ روز قبل از توفان خورشیدی و ۳۰ روز پس از توفان خورشیدی متفاوت است. هم‌چنین مطالعات بلند مدت به تأثیر احتمالی فعالیت خورشیدی بر بلایای جمعیت، یعنی افزایش قابل توجه شیوع بیماری و مرگ و میر اختصاص یافته است. در مقیاس روزانه و حالت عملکرد منظم، ریتم قلب و مغز افراد سالم با تغییرات میدان مغناطیسی در برخی محدوده‌های فرکانسی هماهنگ می‌شود. بر اساس مقایسه مغز انسان، افزایش دامنه ریتم آلفا و وجود اثرات موج کند نشان داده شد. هم‌چنین توفان‌های ژئومغناطیسی شدید با افزایش خطر SAH (تا ۵۸٪) و HS (تا ۳۰٪) همراه بود. اختلال ژئومغناطیسی ناشی از خورشید با افزایش بیماری افسردگی روان پریشی در مردان همراه است، اما در زنان با افسردگی‌های غیر روان پریشی اثر قابل توجهی ندارد. تحقیقات نشان می‌دهد که حداقل ۷۵٪ از توفان‌های مغناطیسی به‌طور متوسط باعث افزایش ۱/۵ برابری تعداد افراد بستری در بیمارستان با بیماری‌های قلبی و عروقی می‌شود. بررسی خون بیماران نشان داد که ویسکوزیته خون در توفان‌های مغناطیسی به شدت افزایش می‌یابد (در برخی موارد تقریباً دو برابر)، گلبول‌های قرمز چسبنده می‌شوند و جریان خون کند می‌شود. در نتیجه ثابت شده است که توفان‌های مغناطیسی خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی را افزایش می‌دهند. هم‌چنین افزایش فعالیت ژئومغناطیسی باعث افزایش فشار خون می‌شود. فعالیت خورشیدی در هنگام تولد، احتمال زنده ماندن در بزرگسالی برای مردان و زنان را کاهش می‌دهد. به‌طور متوسط، طول عمر افرادی که در حداکثر دوره خورشیدی متولد شده‌اند ۲/۵ سال کوتاه‌تر از کسانی است که در حداقل دوره خورشیدی متولد شده‌اند. هم‌چنین این امر بر موفقیت باروری نیز اثرگذار است. تغییر میدان ژئومغناطیسی مهاجرت و خانه نشینی حیوانات را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. تشعشعات خورشیدی در مدت زمان کم هیچ اثر حاد و کوتاه مدتی ایجاد نمی‌کنند. اما افرادی که در معرض خطر طولانی مدت تشعشعات قرار می‌گیرند، در طول عمر خود کمی بیشتر از دیگران در معرض عوارضی مانند سرطان قرار می‌گیرند. نهایتاً عوامل اقلیم فضا و زمین به‌طور بالقوه بر سیستم‌های زیستی بدن تأثیر می‌گذارند و می‌توانند عملکرد یکدیگر را تغییر دهند. جهت پیشگیری از وقوع اثرات پدیده‌های اقلیم فضا که در این مقاله بررسی شد، ثمربخش است که زمینه انجام مطالعات آماری در زمینه اقلیم فضا در ایران فراهم شود و از این تحقیقات در راستای افزایش علم و امکان پیش‌بینی اقلیم فضا جهت حفظ سلامت جامعه استفاده گردد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

مراجع

[1] [Online]. Available: https://isao.isa.ir/.
[2] A.R Allahverdijev, E. S. Babayev, E. N. Khalilov, and N. N. Gahramanova, "Possible space weather influence on functional activity of the human

brain," *in Proc. Space Weather Workshop: Looking towards a European Space Weather Programme*, pp. 17-19, 2001.

[3] E. Guinan and I. Ribas, "Our changing Sun: the role of solar nuclear evolution and magnetic activity on Earth's atmosphere and climate," in *The evolving Sun and its influence on planetary environments*, Vol. 269, p. 85, 2002.

[4] S. W. McIntosh, "Space weather: Big & small–A continuous risk," *Journal of Space Safety Engineering*, Vol. 6, No. 1, pp. 48-52, 2019.

[5] S. Unger, "The impact of space weather on human health," *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, Vol. 22, No. 1, pp. 16442-16443, 2019.

[6] K. Podolská, "Changes of circulatory and nervous diseases mortality patterns during periods of exceptional solar events," *Atmosphere*, Vol. 12, No. 2, p. 203, 2021.

[7] E. S. Babayev, "Some results of investigations on the space weather influence on functioning of several engineering–technical and communication systems and human health," *Astronomical and Astrophysical Transactions*, Vol. 22, No. 6, pp. 861-867, 2003

[8] E. S. Babayev and A. A. Allahverdiyeva, "Effects of geomagnetic activity variations on the physiological and psychological state of functionally healthy humans: some results of Azerbaijani studies," *Advances in Space Research*, Vol. 40, No. 12, pp. 1941-1951, 2007.

[9] J. Vencloviene, and et al., "Possible Associations between Space Weather and the Incidence of Stroke," *Atmosphere*, Vol. 12, No. 3, p. 334, 2021.

[10] F. Kargar, Gh. Mozafari, and A. Mozushi, "The role of sunspots in the climate of Fars province." *the fourth scientific research conference of New Horizons in Science Research Conference Geography and Urban Planning and Architecture of Iran*, 2016 (in Persian).

[11] M.K. Kiyanian, H. Haji Mohammadi, and F. Rasouli, "Investigation of sunspots and its relationship with rainfall in Semnan province.", *The second national conference on desert with the approach of managing arid and desert areas, Semnan*, 2014 (in Persian).

[12] M. Fouladi, B. Oskooi ,and H-R. mostafaei, " Magnetic Storms and their Effects on New Technologies." *Journal Of The Earth* Vol. 5, No. 1,(Special Issue) pp. 53–60, 2010 (in Persian).

[13] O. Shekoofa, and F. Bagheroskouei, "Looking at Space Weather Phenomena, Monitoring and Forecasting Systems, and the Road map for Preparing against them, the *18th International Conference of Iranian Aerospace Society* " 2020 (in Persian).

[14] O. Shekoofa, M. Khoshsima, S. Ghazanfarinia, and F. Bagheroskouei, "Toward the Establishment of a National Center for Space Weather Services: Vision, Mission and Organization," *Space Science, Technology and Applications*, Vol. 1, No. 2, pp. 34-48, 2022 (in Persian).

[15] A. Kazemi HokmAbad, E. Khatoonabadi Kalali, A. Kosari, and O. Shekoofa, "Space Weather and its Effects on the Human Heart and Brain," in *20st International Conference Of Iranian Aerospace, Tehran, Iran.*, 2022 (in Persian).

[16] E. Khatoonabadi Kalali, A. Kazemi HokmAbad, A. Kosari, and O. Shekoofa, "Social and Economic Effects Caused by Space Weather," in *20st International Conference Of Iranian Aerospace, Tehran, Iran*, 2022 (in Persian).

[17] S. Taran, N., and et al, "Effect of geomagnetic storms on a power network at mid latitudes," *Advances in Space Research*, Vol. 71, No. 12, pp. 5453-5465, 2023.

[18] "NASA" [Online]. Available: http://www.nasa.gov/.

[19] J. W. Harvey and N. R. Sheeley Jr, "Coronal holes and solar magnetic fields," *Space Science Reviews*, Vol. 23, No. 2, pp. 139-158, 1979..

[20] "NASA Earth Observatory - Home." [Online]. Available: https://earthobservatory.nasa.gov/.

[21] M. Guhathakurta, "Space Weather Super-Storm Not IF but WHEN And Extreme Solar Minimum," *UNCOPUOS Meeting. Vienna, Austria*, 2011.

[22] N. Cherry, "Schumann Resonances, a plausible biophysical mechanism for the human health effects of Solar," *Natural hazards*, Vol. 26, pp. 279-331, 2002.

[23] T. A. Zenchenko, and T. K. Breus, "The possible effect of space weather factors on various physiological systems of the human organism," *Atmosphere*, Vol. 12, No. 3, p. 346, 2021.

[24] S.J. Palmer, M.J. Rycroft, and M. Cermack, "Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface," *Surveys in Geophysics*, Vol. 27, No. 5, p. 557, 2006.

[25] A. Krivelyova and C. Robotti, "*Playing the field: Geomagnetic storms and international stock markets*," No. 2003-5a ,Working Paper, Please use this identifier to cite or link to this item: http://hdl.handle.net/10419/100979, 2003.

[26] S. Dimitrova, "Relationship between human physiological parameters and geomagnetic variations of solar origin," *Advances in space research*, Vol. 37, No. 6, pp. 1251-1257, 2006.

[27] M. F. Holick, "Biological Effects of Sunlight , Ultraviolet Radiation , Visible Light , Infrared Radiation and Vitamin D for Health," *Anticancer research.*, Vol. 36, No. 3, pp. 1345–1356, 2016.

[28] Y. I. Gurfinkel, and et al , "Geomagnetic storm under laboratory conditions: randomized experiment," *International journal of biometeorology*, Vol. 62, pp. 501-512, 2018.

[29] S. Dimitrova, E.S. Babayev, K. Georgieva, V. Obridko, and F.R. Mustafa, "Possible effects of solar and geomagnetic activity on sudden cardiac death in middle latitudes," *Sun and geosphere*, Vol. 4, No. 2, pp. 84-88, 2009.

[30] S. Helle, "Solar activity during gestation does not affect human lifespan: Evidence from national data," *Biogerontology*, Vol. 10, No. 6, pp. 671–675, 2009.

[31] G. R. Skjærvø, F. Fossøy, and E. Røskaft, "Solar activity at birth predicted infant survival and women's fertility in historical Norway," *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 282, No. 1801, p. 20142032, 2015.

[32] E. Stoupel, E. Abramson, P. Israelevich, M. Shohat, and J. Sulkes, "Gender and environment: general and monthly gender distribution of newborns and cosmophysical parameters," *J. Vasc. Bras.*, vol. 5, no. 4, pp. 243–244, 2006.

[33] E.G. Stoupel, "Gene functional dynamics: environment as a trigger?," *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, Vol. 25, No. 2, pp. 139-142, 2014.

[34] W. Janzen, S. Warren, F. Hector, F. Fenrich, and K. G. Warren, "The relationship between geomagnetic disturbances and multiple sclerosis at the edge of the auroral zone," *Epidemiol*, Vol. 4, Vo. 165, pp. 2161-1165, 2014.

[35] M. Hapgood et al., "Development of space weather reasonable worst-case scenarios for the UK national risk assessment," *Journal of Advancing Earth And Space Sciences*, Vol. 19, No. 4, Wiley Online Library, 2021.

[36] P. Cannon and et al., *Extreme space weather: impacts on engineered systems and infrastructure*. Royal Academy of Engineering, 2013.

[37] T.O. Fumihiko, " Space Weather Forecast in the Future Manned Space Era," *Journal of the Communications Research Laboratory*, Vol. 49, No. 4, pp 159-172, 2002.

[38] E. Echer, W.D. Gonzalez, F.L. Guarnieri, A. Dal Lago, and L.E. Vieira, "Introduction to space weather," *Advances in Space Research*, Vol. 35, No. 5, pp. 855-865, 2005.

[39] K. H. Vanselow, S. Jacobsen, C. Hall, and S. Garthe, "Solar storms may trigger sperm whale strandings: Explanation approaches for multiple strandings in the North Sea in 2016," *International. Jornal of. Astrobiology.*, Vol. 17, No. 4, pp. 336–344, 2018.

[40] N. A. Belova , and D. Acosta-Avalos, "The effect of extremely low frequency alternating magnetic field on the behavior of animals in the presence of the geomagnetic field," *Journal of biophysics*, 2015.

[41] S. M. Chibisov, G. Cornélissen, and F. Halberg, "Magnetic storm effect on the circulation of rabbits," *Biomedicine & Pharmacotherapy*, Vol. 58, pp. S15-S19, 2004.

[42] S. Hu, "Solar particle events and radiation exposure in space," *NASA Space Radiation Program Element, Human Research Program*, pp. 1-15, 2017.

[43] E. Yahaghi, "Simulation of space radiation effect on the platelets cell," *Radiation Safety and Measurement*, Vol. 2, No. 4, pp. 47-53, 2013 (in Persian).

[44] National Academies of Sciences Engineering and Medicine, "Space radiation and astronaut health: managing and communicating cancer risks," 2021.