

Research Paper

Solar Corona Flares and Its Effect on the Earth's Atmosphere¹

Sima Zeighami*², Ehsan Tavabi³ and Hedye Rostaii

Received: 2023.07.01

Revised: 2023.08.24

Accepted: 2023.09.21

Abstract

Solar winds result from the eruption of plasma streams from the solar corona. This plasma, which consists of proton particles, electrons, X-rays, and radio waves, penetrates the heliosphere and accelerates from the interplanetary space toward the Earth with high kinetic energy and thermal energy. In addition, if it collides with the Earth's atmosphere, it disrupts human life. But despite the Earth's magnetic field and the magnetic reconnection process in this area, the Earth's magnetosphere acts like a shield and prevents these substances from affecting the Earth. To obtain the necessary information to investigate all kinds of phenomena that happen around the Sun, the use of satellite data is the best and most reliable method in terms of accuracy and up-to-date data. The data from the Goes meteorological satellite, LASCO spacecraft, and the Solar Dynamic Observatory are the information that we use in this article to advance our goals. To check the correlation between solar eruptions and changes in the Earth's magnetosphere layer, we use the wavelet analysis method with Morlet's fundamental wave, which is an important tool for processing fluctuations. The results of accurate numerical calculations of this research showed that there is a strong correlation between the magnetic activities of the Sun and the characteristic indices of the Earth's magnetosphere layer, which can affect the Earth's atmosphere as well.

Keywords: *Solar Flare, Magnetic Field, Proton Particles, Electron Particles, X-ray.*

¹ DOI: 10.22051/ijap.2023.44254.1335

² Assistant Professor, Department of Physics, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. (Corresponding Author). Email: zeighami@iaut.ac.ir

³ Associate Professor, Physics Department, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran. Email: e_tavabi@pnu.ac.ir



فوران‌های تاج خورشید و تاثیر آن بر روی اتمسفر زمین^۱

سیما ضیغمی^{۲*}، احسان توایی^۳ و هدیه روستایی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰

فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران

دانشکده فیزیک، دانشگاه الزهرا

سال سیزدهم، پیاپی ۳۵، زمستان ۱۴۰۲

صص ۳۴ - ۵۶

چکیده:

بادهای خورشیدی نتیجه‌ی فوران جریانات پلاسما از تاج خورشید می‌باشند. این پلاسما که از ذرات پروتون، الکترون، پرتو ایکس و امواج رادیویی تشکیل شده است، به ناحیه‌ی هلیوسفر نفوذ کرده و از فضای بین سیارات با انرژی جنبشی و انرژی حرارتی بالایی به سمت کره‌ی زمین شتاب می‌گیرد. افزون بر این، در صورت برخورد با اتمسفر زمین سبب مختل شدن زندگی بشر می‌گردد. اما با وجود میدان مغناطیسی زمین و فرآیند اتصال مجدد مغناطیسی که در این ناحیه اتفاق می‌افتد. ناحیه‌ی مگنتوسفر زمین همچون یک سپر عمل کرده و مانع از تأثیر گذاری این مواد بر روی کره‌ی زمین می‌گردد. استفاده از داده‌های ماهواره‌ها به منظور دستیابی به داده‌های مورد نیاز برای بررسی انواع پدیده‌هایی که در اطراف خورشید رخ می‌دهد، بهترین و مطمئن‌ترین روش از نظر درستی و به روز بودن داده‌ها می‌باشد. در این مقاله از داده‌های ماهواره‌ی هوشناسی گوئس، فضایپیمای لاسکو و رصدخانه‌ی دینامیکی خورشید بهره گرفته شده است. برای بررسی دقیق همبستگی بین فوران‌های خورشید و تغییرات لایه مگنتوسفر زمین از روش تحلیل موجک با موج پایه مورلت استفاده شده است که ابزار مهمی برای پردازش نوسانات می‌باشد. نتایج محاسبات عددی دقیق این پژوهش نشان داد که همبستگی قوی بین فعالیت‌های مغناطیسی خورشید و ایندکس‌های مشخصه لایه مگنتوسفر زمین وجود دارد که به پیروی از آن می‌تواند بر روی اتمسفر زمین نیز تاثیر بگذارد.

واژگان کلیدی: شراره خورشیدی، میدان مغناطیسی، ذرات پروتون، ذرات الکترون، پرتو ایکس.

^۱ DOI: 10.22051/ijap.2023.44254.1335

^۲ استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. (نویسنده مسئول). Email: zeighami@iaut.ac.ir

^۳ دانشیار، دانشکده فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. Email: e_tavabi@pnu.ac.ir

^۴ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. Email: hroostaeec69@gmail.com



۱. مقدمه

فعالیت‌های خورشیدی به تمام پدیده‌هایی اشاره می‌کند که در سطح یا درون خورشید روی می‌دهد. از جمله این فعالیت‌ها می‌توان به لکه‌های خورشید، چرخه‌ی فعالیت خورشیدی، شراره‌های خورشیدی، برجستگی‌های فورانی، باد‌های خورشیدی توده‌های پرتاب شده‌ی تاجی اشاره کرد. لکه‌های خورشید تحت تاثیر فعالیت مغناطیسی شدید خورشید، میزبان پدیده‌های ثانویه چون حلقه‌های تاجی (زبانه‌ها) و پدیده‌های اتصال مجدد می‌باشند. شراره خورشیدی زمانی رخ می‌دهد که انرژی مغناطیسی در اتمسفر خورشید به صورت ناگهانی آزاد می‌شود. تابش گسیل شده از شراره‌ی خورشیدی کمابیش در تمام طیف الکترومغناطیسی از طول موج‌های بلند چون امواج رادیویی، امواج مرئی تا طول موج‌های کوتاه مثل پرتو ایکس و گاما گسترده شده است. انرژی که از این پدیده بدست می‌آید برابر مقدار انرژی است که از انفجار ۱۰۰ مگا تن بمب هیدروژنی بدست می‌آید.

کاوشگرهای فضایی طیف‌های بدست آمده از نوسانات در منطقه انتقالی و تاج خورشید را رصد کرده‌اند [۵-۱]. معمولاً هر شراره‌ی خورشیدی شامل سه مرحله است. اولین مرحله، مرحله‌ی پیشرو می‌باشد که سبب رهاسازی انرژی مغناطیسی شده و تابش پرتو ایکس نرم در این مرحله مشاهده می‌شود [۶]. در مرحله‌ی دوم یا فاز ضربه‌ای یا لحظه‌ای، الکترون‌ها و پروتون‌ها شتاب گرفته و انرژی آن‌ها به ۱ MeV افزایش می‌یابد که در این مرحله، امواج رادیویی، پرتو ایکس سخت و پرتو گاما گسیل می‌شود. در مرحله‌ی سوم یا مرحله‌ی فروپاشی، به صورت تدریجی پدید آمدن پرتو ایکس و نابودی آن قابل شناسایی است. این سه مرحله می‌تواند چند ثانیه یا چند ساعت به طول بیانجامد. شراره‌های خورشیدی را می‌توان براساس بسامد پرتو ایکس فرودی طبقه‌بندی نمود که توسط ماهواره‌ی گوئس اندازه‌گیری می‌شود. شراره‌ی خورشیدی برای اولین بار در روی خورشید توسط ریچارد کریستوفر کارینگتون و همچنین ریچارد هاجسون در سال ۱۸۵۹ میلادی مشاهده گردید. شراره‌های خورشیدی از یک انفجار بزرگ در جو خورشید و در نزدیکی مجموعه لکه‌های فعال پدید آمده و موجب آزاد شدن انرژی بسیار زیاد در حدود $10^{25} \times 6$ ژول می‌گردند، که در حدود یک ششم انرژی خروجی از سطح خورشید در هر دقیقه است [۷]. شراره‌ی خورشیدی تمامی لایه‌های سطح خورشید شامل شیدسپهر، رنگین سپهر و تاج را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین سبب گرم شدن پلاسما تا چندین میلیون کلوین می‌شود. شراره‌ها به این دلیل از نظر علمی مورد توجه‌اند که در مدت کوتاه عمر خود، همراه با تابش شدید امواج الکترومغناطیسی با سرعت نور به زمین می‌رسند و این امواج بر روی لایه یونسفر زمین تاثیر گذاشته و در رادارها و تجهیزاتی که وابسته به



بسامد هستند، ایجاد اختلال می‌نمایند [۸]. افزون بر این، شراره‌ها ابرهایی از ذرات یونیده (پلاسما) به فضا می‌فرستند که با سرعت هزاران کیلومتر در ثانیه حرکت کرده و میدان مغناطیسی زمین را تحت تأثیر قرار داده و شفق‌های قطبی شمالی و جنوبی را در زمین پدید می‌آورند. بسامد به وجود آمده از شراره‌های خورشیدی تغییرات زیادی را شامل می‌شوند که این تغییرات از ۱ بار در روز (زمانی که خورشید در حالت فعال است) تا ۱ بار در هفته (زمانی که سطح خورشید آرام است) متغیر می‌باشد.

شراره‌های بزرگ عموماً همراه با فوران‌هایی از جرم در فضای میان سیاره‌ای هستند که اصطلاحاً CME نامیده می‌شوند، که در حقیقت انفجار گسترده‌ای از پلاسما هستند که از خورشید پرتاب می‌شوند [۹ و ۱۰]. سرعت CME ممکن است بیشتر از ۲۰۰۰ یا کوچک‌تر از ۱۰۰ کیلومتر در ثانیه باشد، که وابسته به ویژگی‌های آن‌ها است. CME‌ها مقادیر عظیمی از ماده و تابش الکترومغناطیسی در فضا منتشر می‌کنند [۱۱]. مواد خارج شده از پلاسما در درجه‌ی اول شامل الکترون‌ها و پروتون‌ها است، اما ممکن است مقادیر کمی از عناصر سنگین از قبیل هلیوم، اکسیژن و حتی آهن داشته باشد. به بیان دیگر می‌توان گفت شراره‌ها ابرهای بسیار پرنوری هستند که در بالای رنگین سپهر و ناحیه‌ی زیرین تاج ظاهر می‌شود که تفاوت شان با زبانه‌ها در میزان درخشش، اندازه و پایداری آن‌ها است. شراره‌ها اگر در شدت بیشینه باشند، پرنورترین لگه‌های سفید روی خورشیداند. شراره‌ها از زبانه‌ها کوچک‌تر هستند، ارتفاع‌شان اغلب تنها ۱۵۰۰۰ کیلومتر است و برخلاف زبانه‌ها به سرعت بسیار زیاد ایجاد و سپس ناپدید می‌شوند. شراره‌ها در مدت چند دقیقه به بیشترین روشنی خود می‌رسند و پس از یک ساعت یا بیشتر ناپدید می‌شوند.

بر اساس سازمان فضایی آمریکا انواع شراره‌های خورشیدی با حروف A, B, C, M, X مشخص می‌شوند. جدول (۱) انرژی شراره‌ها بر اساس رده‌بندی آن‌ها را نشان می‌دهد. بزرگترین شراره‌ها در گروه X قرار داشته و قوی‌ترین نوع محسوب می‌شوند، در مقابل آن کوچک‌ترین نوع شراره‌ها در گروه A قرار دارند. همانند مقیاس ریشتر برای زمین لرزه‌ها، در اینجا نیز به ازای هر حرف میزان انرژی نسبت به حرف قبلی ۱۰ برابر افزایش می‌یابد. به عنوان مثال، شراره‌های دسته X، ۱۰ برابر قوی‌تر از دسته M و ۱۰۰ برابر قوی‌تر از دسته C هستند. هدف اصلی این مقاله، نشان دادن ارتباط نزدیک و مستقیم بین تمامی پدیده‌هایی است که در سطح خورشید رخ می‌دهند، و در نهایت پی بردن به زمان رخداد شراره‌ها با استفاده از داده‌های آن‌ها و داده‌های سایر پدیده‌ها.



جدول ۱ انرژی شراره‌ها بر اساس رده‌بندی آن‌ها.

رده‌بندی	میزان انرژی (W/m^2)
A	$< 10^{-7}$
B	$10^{-7} - 10^{-6}$
C	$10^{-6} - 10^{-5}$
M	$10^{-5} - 10^{-4}$
X	$10^{-4} - 10^{-3}$
Z	$> 10^{-3}$

۲. روش تحقیق و تحلیل نتایج

برای بررسی فوران‌های تاجی خورشید و تاثیر آن‌ها بر روی کره‌ی زمین ابتدا باید ملاحظه کنیم که این فوران‌های عظیم چون شراره‌ها در چه بازه‌های زمانی در اوج رخداد و فعالیت خود هستند و با استفاده از چه داده‌ها و ابزارهایی به محتمل‌ترین زمان و مکان رخداد آن‌ها می‌توان دست یافت. بی‌گمان داده‌های ماهواره‌ها معتبرین منابع در این زمینه هستند و امروزه تمامی پژوهش‌ها بر پایه و اساس این داده‌ها می‌باشند. آنچه که در هنگام رخداد شراره مهم است، این است که بی‌گمان رخداد این پدیده با پدیده‌های دیگری چون میدان مغناطیسی سطح خورشید، چرخه فعالیت خورشید، لگه-های خورشیدی، خروج ذرات باردار الکترون و پروتون از تاج خورشید، میزان رخداد CME از تاج، سرعت متوسط و بیشینه CME و تابش پرتو ایکس در رده‌ی کلاس M، که بالاترین رده انرژی برای تابش پرتو ایکس می‌باشد، ارتباط مستقیم و نزدیک دارد. از این رو، برای اینکه به هدف نهایی خود که رسیدن به زمان رخداد شراره‌هایی با انرژی بالا است دست یابیم، باید ابتدا پارامترهای مربوطه را، که با روند پژوهش پیش‌رو در ارتباط هستند، بررسی کنیم.

لازم به یادآوری است که بازه زمانی مورد نظر برای بررسی هر کدام از پارامترها بسیار مهم است. در کار حاضر، ابتدا بازه زمانی طولانی مدت از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ در نظر گرفته شده که در این بازه زمانی چرخه‌ی ۱۱ ساله فعالیت خورشیدی قرار دارد. به این صورت که نمودارهایی را که برای میزان خروج جرم از خورشید و تعداد لگه‌های خورشید رسم شده، در این بازه‌ی زمانی باشد. پس از رسم نمودار این دو پارامتر، حدود بیشینه و کمینه در این دوره کاملاً مشهود است (شکل‌های (۱) ، (۲) و (۳)). در کار حاضر توجه روی حدود بیشینه و کمینه است، از این رو، هر چه در روند بررسی جلوتر رویم بازه‌ی زمانی کوچک‌تر می‌شود. کوچک شدن بازه‌ی زمانی به بالا رفتن دقت و درستی پژوهش انجام شده کمک زیادی خواهد کرد. هدف نهایی بدست آوردن زمان دقیق برای



شراره‌هایی با انرژی بالا و مقایسه کردن زمان رخداد شراره‌ها با نمودارهای پارامترهای مرتبط در همان زمان است.

با بررسی نمودارهای کلی از سرعت بیشینه، خروج جرم از خورشید و لگه‌های خورشیدی در بازه ی زمانی مورد نظر مشاهده می‌شود که به دلیل بیشینه بودن پارامترها در سال ۲۰۱۴ نسبت به دیگر سال‌ها و وجود ارتباط زیادی بین این پدیده‌ها، بی‌گمان در سال ۲۰۱۴ شراره با انرژی بالا اتفاق افتاده است و در سال ۲۰۱۸ شراره‌ها با میزان انرژی پایین رخ داده است.

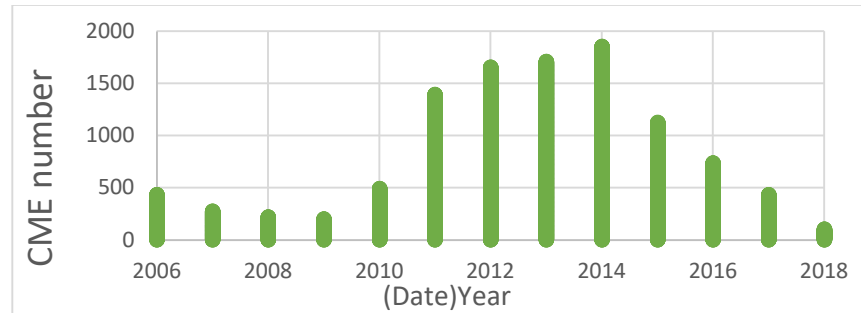
حال بازه ی زمانی را کوچک‌تر کرده تا زمان دقیق رخداد شراره را بدست آوریم. با توجه به اینکه رابطه مستقیمی بین میزان خروج ذرات باردار پروتون و الکترون از سطح با شراره‌ها وجود دارد، ابتدا نمودارهای پروتون و الکترون بررسی خواهد شد. با استفاده از سایت www.satdat.ngdc.noaa.gov نمودارهای ۱۲ ماه سال ۲۰۱۴ را بررسی شد. با توجه به این نمودارها زمان‌هایی که میزان انرژی ذرات باردار یونیزه بالا می‌باشد را می‌توان مبنای رخداد شراره قرار داد (شکل‌های (۶)، (۷) و (۸)). در بررسی اولین نمودار که مربوط به ماه ژانویه می‌باشد مشاهده می‌شود که در ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ به این دلیل که در روزهای پنجم تا یازدهم میزان انرژی ذرات یونیزه افت‌وخیز شدیدی دارد، احتمال رخداد شراره با انرژی بالا در این بازه ی زمانی وجود دارد. همچنین می‌توان نمودارهای دیگر ماه‌های سال ۲۰۱۴ را هم مورد بررسی قرار داد و روند کار را ادامه داد، اگرچه در این روش پژوهش به یک مورد بسنده شده است. در کار حاضر برای مثال شراره ماه ژانویه را انتخاب نموده و روند بررسی با توجه به این بازه ی زمانی انجام شده است. برای دیگر شراره‌ها در بازه‌های زمانی مختلف روند بررسی به همین شکل است. منظور از روند بررسی این است که وقتی زمان رخداد شراره بدست آمد، حال برای اثبات این موضوع به سراغ نمودارها و شکل‌ها و فیلم‌های دیگر در این بازه زمانی رفته تا رخداد شراره در این بازه ی زمانی ثابت شود.

تمامی نکاتی که در مورد رخداد شراره در سال ۲۰۱۴ بیان شد، برای سال ۲۰۱۸ هم بیان می‌شود، البته به صورت برعکس. بر اساس داده‌های بدست آمده از سایت CME CME و رسم نمودار خروج جرم از خورشید و لگه‌های خورشیدی ماهیانه و روزانه مشخص می‌شود که سال ۲۰۱۴ بیشینه و سال ۲۰۱۸ کمینه رخداد این دو پارامتر را داریم. بدیهی است که سرعت بیشینه و سرعت متوسط پلاسمای خارج شده از خورشید هم در این سال در بیشینه میزان خود باشد (نمودارهای (۴) و (۵)). با توجه به اینکه سال ۲۰۱۴ همه داده‌ها مقدار بیشینه دارند، بی‌گمان در این سال افزون بر میکرو

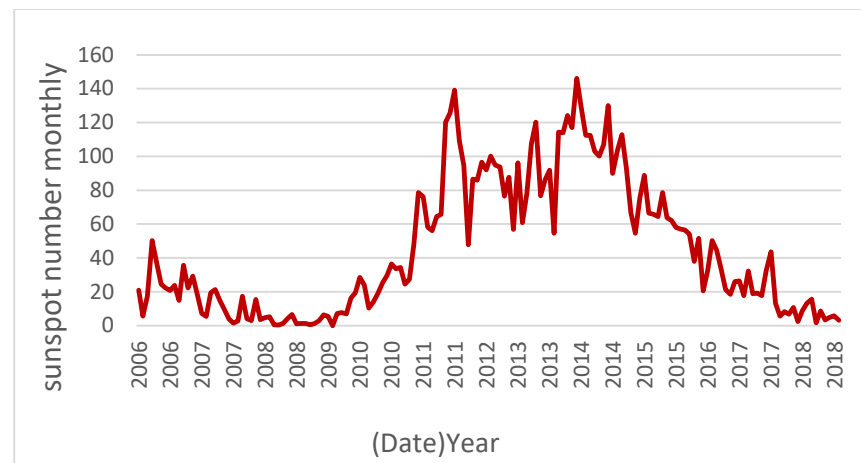


فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران، دانشگاه الزهراء، سال سیزدهم، پیاپی ۳۵، زمستان ۳۹/۱۴۰۲

شراره‌ها، شراره‌هایی با انرژی بالا هم رخ داده است. برای بدست آوردن زمان رخداد این شراره‌ها نمودارهای این سال نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

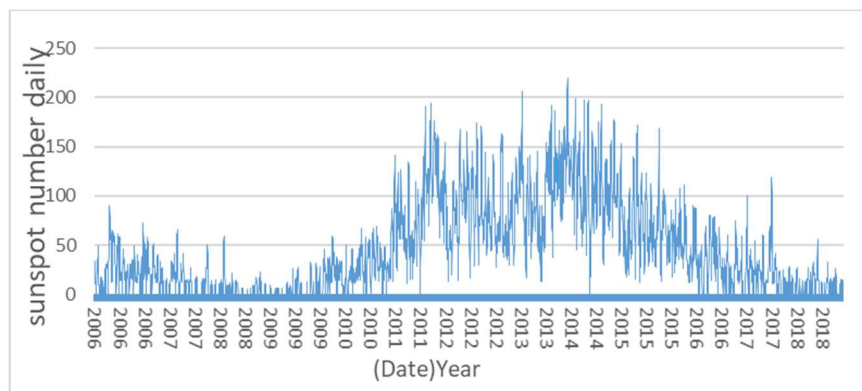


شکل ۱ نمودار خروج جرم از خورشید از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ براساس سایت cactus CME.

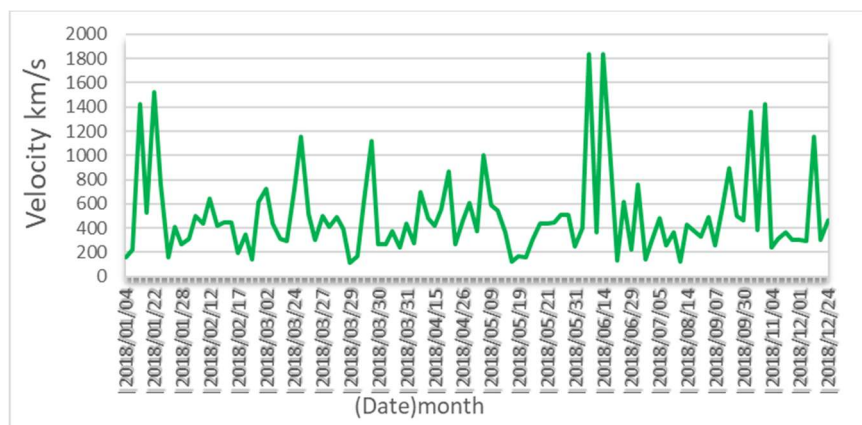


شکل ۲ نمودار ماهیانه لگه‌های خورشیدی از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸.

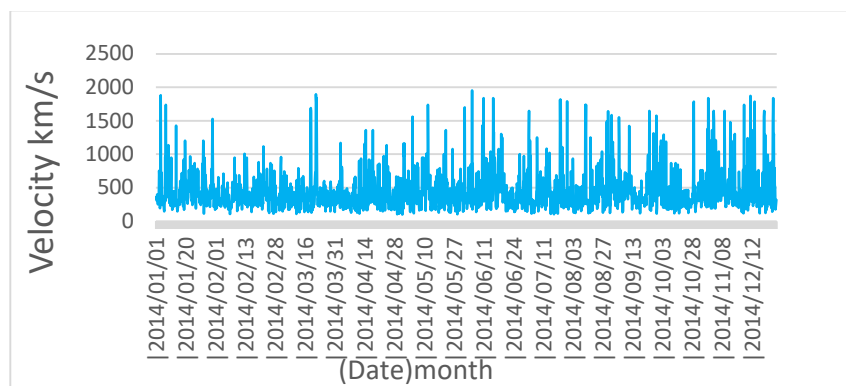




شکل ۳ نمودار روزانه‌ی لگه‌های خورشیدی از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸.



شکل ۴ نمودار سرعت بیشینه خروج جرم از خورشید سال ۲۰۱۸ براساس سایت Cactus CME.

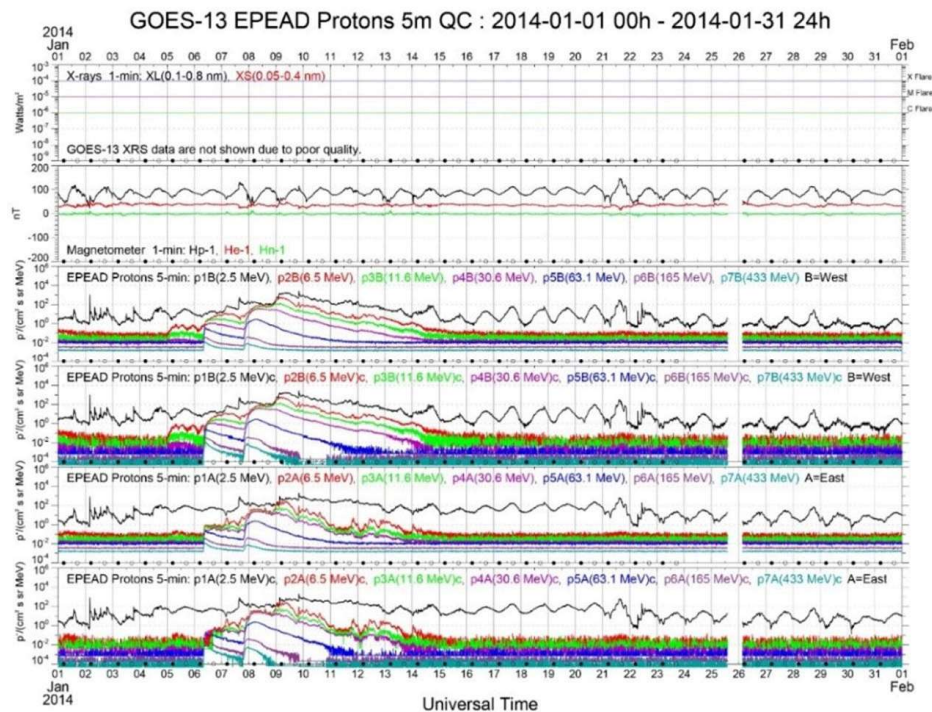


شکل ۵ نمودار سرعت بیشینه خروج جرم از خورشید سال ۲۰۱۴ براساس سایت Cactus CME.



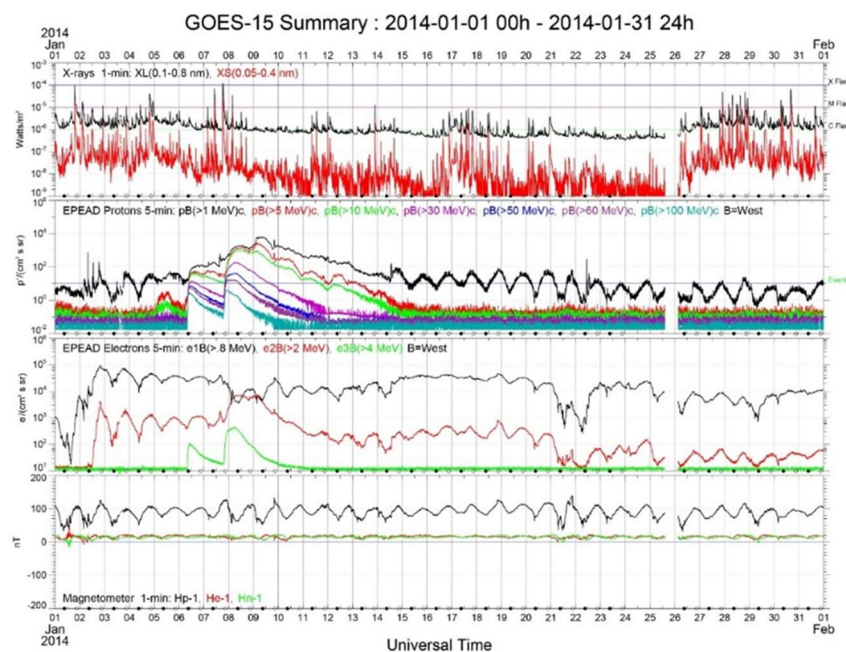
فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران، دانشگاه الزهراء، سال سیزدهم، پیاپی ۳۵، زمستان ۱۴۰۲/۴۱

پس از بررسی‌های انجام شده از نمودارهای پروتون سال ۲۰۱۴ مشاهده می‌شود که در بعضی از زمان‌ها شدت انرژی شارها به حدی بوده است که به دنبال رخداد شارها پر انرژی، یک فوران پر جرم از خورشید نیز به فضای بین سیارات گسیل شده است. البته لازم به یادآوری است که شارهای بسیار زیادی رخ می‌دهد اما در حد میکرو شارها می‌باشند.



شکل ۶ نمودار پروتون ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی گونس ۱۳.





شکل ۷ نمودار ذرات خروج جرم از خورشید ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی گوتس ۱۵.

در نمودار شکل (۸) که مربوط به سال ۲۰۱۸ است، به این دلیل که تمامی پارامترها در این سال به میزان کمینه خود هستند، انتظار می‌رود که شراره‌ها در حد میکرو شراره رخ دهند. پیش‌بینی می‌شود که اگر به ویدئوهای بدست آمده از ماهواره رصدخانه‌ی دینامیکی خورشید و یا ماهواره لاسکو در بازه‌ی زمانی مورد نظر در این سال رجوع شود، رخداد شراره مشاهده شود. شکل (۱۴) نمونه‌ای از تصاویر شراره می‌باشد. افزون بر پروتون‌ها و الکترون‌ها تابش پرتو ایکس هم باید با رخداد شراره همخوانی داشته باشد. شکل (۹) مربوط به نمودار سال ۲۰۱۴ است که از سایت www.polarhicht-vorhersage گرفته شده است. با بررسی دقیق این نمودار مشاهده می‌شود که میزان انرژی پرتو ایکس در این سال در حد کلاس X یعنی بالاترین میزان انرژی می‌باشد. برعکس در شکل (۱۰) میزان انرژی پرتو ایکس در حد کلاس C می‌باشد، که این تفاوت به روشنی نشان دهنده هدف مورد نظر می‌باشد. شکل (۱۱) نمودار ذرات پروتون بین روزهای چهارم تا هفتم ژانویه سال ۲۰۱۸ از ماهواره گوتس ۱۵ را نشان می‌دهد. با تمام این بررسی‌ها برای تایید درستی نتایج کار، تنها راه ممکن مشاهده فیلم و عکس شراره‌ها است. با استفاده از سایت <http://Lasco> www.nrl.navy.mil که مربوط به نیروی دریایی آمریکا و ماهواره‌ی لاسکو می‌باشد و همچنین



سایت‌های <http://umbra.nascom.nasa.gov> و www.soho.nascom.nasa.gov که مرتبط با ماهواره سوهو می‌باشند، می‌توان فیلم و عکس لحظه رخداد شراره را بدست آورد. و از این راه اثبات کرد که فرآیند رسم نمودارها درست است.

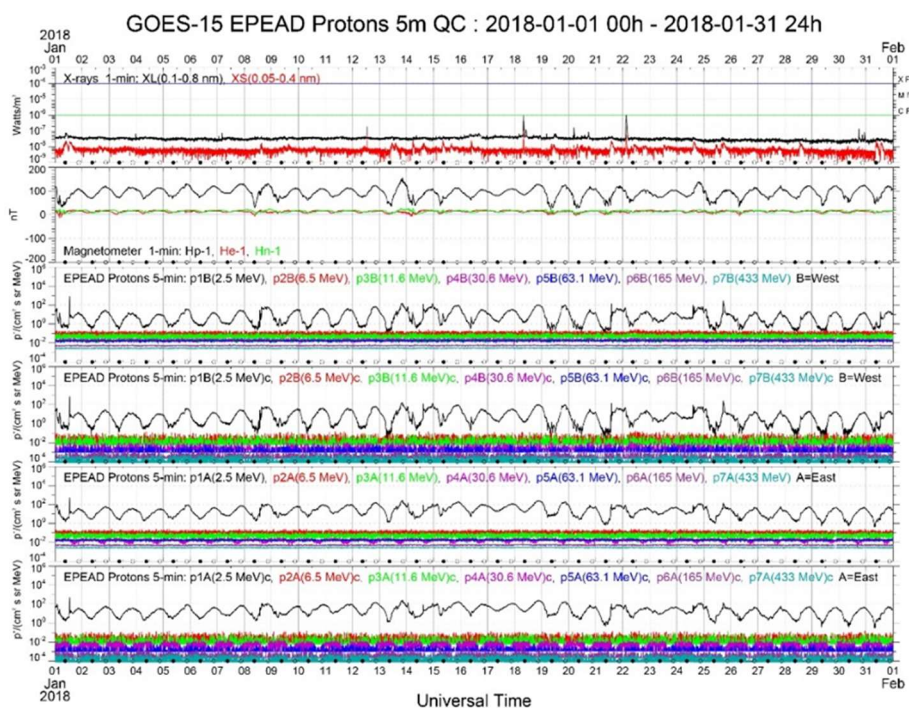
پس از مشخص شدن وجود بیشینه فعالیت مغناطیسی خورشید در سال ۲۰۱۴، برای اثبات این موضوع می‌توان به صفحه‌ی وب به آدرس www.helioviewer.org مراجعه کرده و فیلم رخداد شراره بر روی سطح خورشید را که به وسیله رصدخانه دینامیکی خورشید و بسته ابزاری AIA در طول موج ۱۷۱ آنگسترم تهیه شده است را بررسی نمود. پس از مشاهده این فیلم زمان رخداد شراره‌هایی که دارای انرژی بیشینه در بازه زمانی مورد نظر، یعنی روز اول تا هشتم ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ هستند، را می‌توان بدست آورد. در جدول (۲) زمان دقیق شراره‌ها با مقدار انرژی آن‌ها درج شده است. بر این اساس بی‌گمان باید بر اساس داده‌های بدست آمده در این زمان‌ها هم نمودار ذرات پروتون، الکترون و پرتو ایکس گواهی این موضوع باشند. به عنوان نمونه، اگر یکی از شراره‌ها در نظر گرفته شود که در روز هفتم در ساعت ۲۱:۱۴:۳۵ با میزان انرژی ۵۰۶۰/۴ وات بر مترمربع رخ داده است، با توجه به نمودار پروتون در این بازه‌ی زمانی، مشخص است که این نمودار هم رخداد شراره را اثبات می‌کند.

در سایت www.swpc.noaa.gov نمودارهایی را می‌توان مشاهده کرد که به صورت دقیق‌تر به بررسی این نتایج پرداخته است. در نمودار شکل (۹) روشن است که هر روز به هشت بازه‌ی سه ساعته تقسیم شده است. ما بین روزهای ششم و هفتم در حدود ساعت ۸ صبح (بر اساس جدول (۲)) رخداد شراره مشاهده می‌شود و این همان نتیجه و هدف مورد نظر است. در نمودار شکل‌های (۹)، (۱۰) در حدود ساعت هفت بعدظهر (بر اساس جدول (۲)) دوباره رخداد شراره مشاهده می‌شود. در این نمودار بر اساس مشاهده‌ی فیلم و نتایجی که در جدول (۲) ثبت شده است، سه شراره در این زمان رخ داده است که با آنچه در نمودار مشاهده می‌شود، هماهنگ است و منحنی نمودار با شدت بیشتری رو به بیشینه مقدار خود رسم شده است. پس از این زمان نمودارهای رسم شده سیر نزولی خود دارند. به این معنا که در حقیقت شراره‌های در حد کلاس A نسبت به شراره‌هایی در حد کلاس X بیشتر رخ می‌دهند.

در نمودارهای سال ۲۰۱۸ بی‌گمان افت و خیز شدیدی به دلیل نبود شراره با انرژی بالا رخ نخواهد داد. در مجموعه تصاویر شکل (۱۲) با توجه به فیلم مشاهده شده، لحظه دقیق شراره‌ها نشان داده شده است. شکل (۱۳) تصاویری از لحظه‌ی رخدادن CME که توسط ماهواره‌ی لاسکو با دیسک

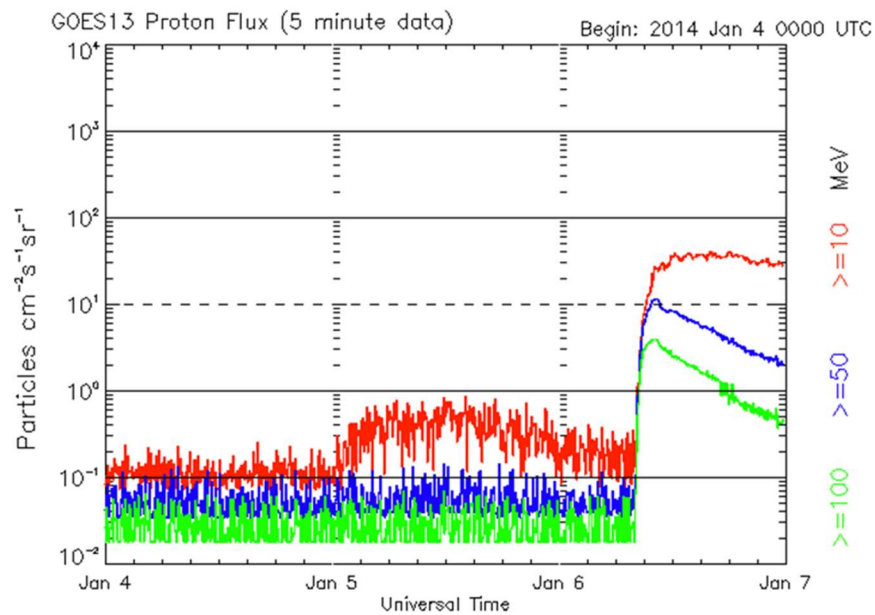


C3 در ۷، ۶ و ۹ ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ گرفته شده است. در این شکل، (الف) تصویر مربوط به دیسک C3 در تاریخ ۰۶-۰۱-۲۰۱۴ در زمان ۱۰/۰۶/۰۶ و ۱۳ (ب) تصویر مربوط به دیسک C3 در تاریخ ۰۹-۰۱-۲۰۱۴ در زمان ۰۶/۵۴/۰۵ را نشان می‌دهد. هدف اصلی این پژوهش اثبات وجود ارتباط مستقیم بین پدیده‌های خورشیدی و همچنین اثبات این موضوع که دلیل اصلی انتشار ذرات باردار پروتون و الکترون رخداد شراره‌ها با میزان انرژی بالا است، بوده است. شکل (۱۵) و (۱۶) نمودارهای انرژی پرتو ایکس به ترتیب در روزهای ۴ تا ۷ و ۶ تا ۹ ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ توسط ماهواره گوئس را نشان می‌دهد.

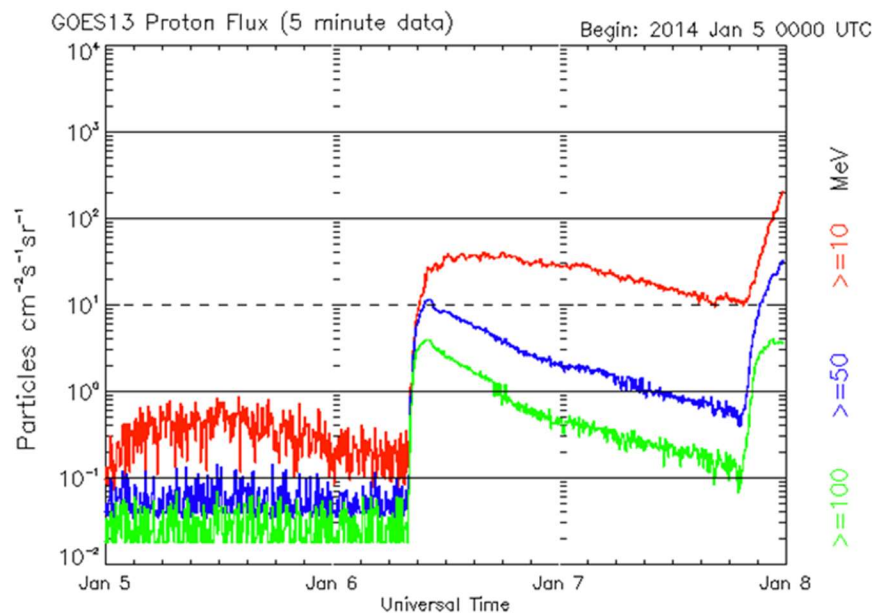


شکل ۸ نمودار پروتون ماه ژانویه سال ۲۰۱۸ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی گوئس ۱۵.



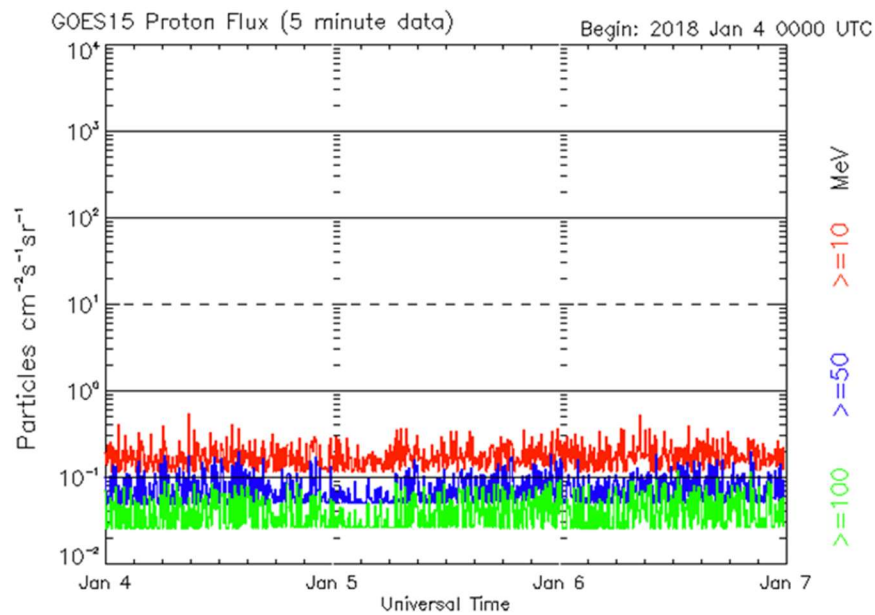


شکل ۹ نمودار ذرات پروتون بین روزهای چهارم تا هفتم ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ از ماهواره گوس ۱۳.



شکل ۱۰ نمودار ذرات پروتون بین روزهای پنجم تا هشتم ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ از ماهواره ی گوس ۱۳.



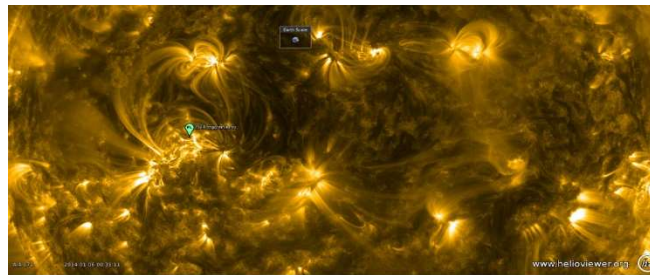


شکل ۱۱ نمودار ذرات پروتون بین روزهای چهارم تا هفتم ژانویه سال ۲۰۱۸ از ماهواره گوتس ۱۵.

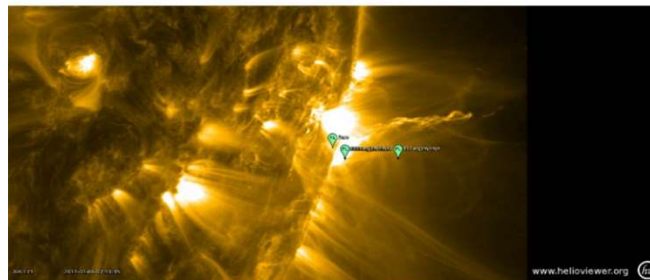
جدول ۲ تاریخ رخداد شاراه ها براساس فیلم بدست آمده از سایت www.heliviewer.org

انرژی	میزان W/m ²	تاریخ	زمان
	۱۱۷۷	۲۰۱۴/۱/۶	۲۲:۱۳:۲۳
	۱۰۳۰	۲۰۱۴/۱/۶	۲۲:۱۳:۲۳
	۱۹۶۷/۵	۲۰۱۴/۱/۶	۰۰:۳۱:۱۱
	۲۱۰۴/۵	۲۰۱۴/۱/۶	۷:۴۶:۳۵
	۶۲۱۳	۲۰۱۴/۱/۷	۱۲:۵۹:۱۱
	۳۴۵۶/۲	۲۰۱۴/۱/۷	۱۸:۵۷:۴۰
	۲۰۶۷/۹	۲۰۱۴/۱/۷	۱۸:۵۷:۴۰
	۳۰۰۴/۵	۲۰۱۴/۱/۷	۱۸:۵۷:۴۰
	۵۰۶۰/۴	۲۰۱۴/۱/۷	۲۱:۱۴:۳۵
	۳۴۵۶	۲۰۱۴/۱/۷	۲۱:۱۴:۳۵
	۶۲۱۳	۲۰۱۴/۱/۸	۰۱:۱۵:۲۳



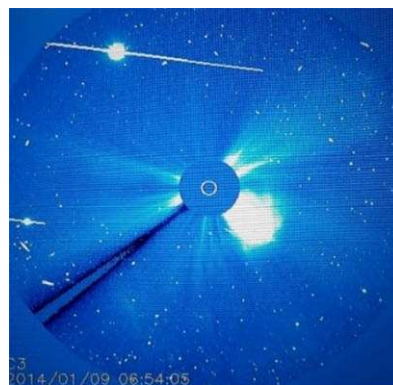


(الف)

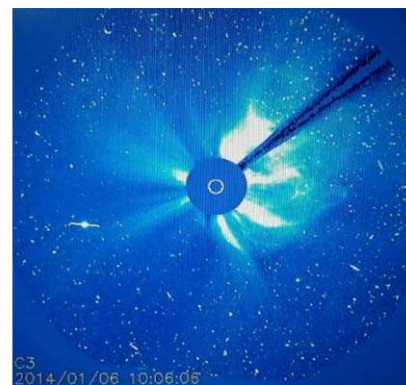


(ب)

شکل ۱۲ تصاویر مربوط به رخداد شراره‌ها براساس جدول زمان‌بندی شماره‌ی ۲. (الف) تصویر رخداد شراره در تاریخ ۶-۱-۲۰۱۴ توسط رصدخانه‌ی دینامیکی خورشید به کمک بسته‌ی ابزاری AIA در طول موج ۱۷۱ آنگسترم در زمان ۰۰/۳۱/۱۱. (ب) تصویر رخداد شراره در تاریخ ۶-۱-۲۰۱۴ توسط رصدخانه‌ی دینامیکی خورشید به کمک بسته‌ی ابزاری AIA در طول موج ۱۷۱ آنگسترم در زمان ۰۷/۴۶/۳۵.

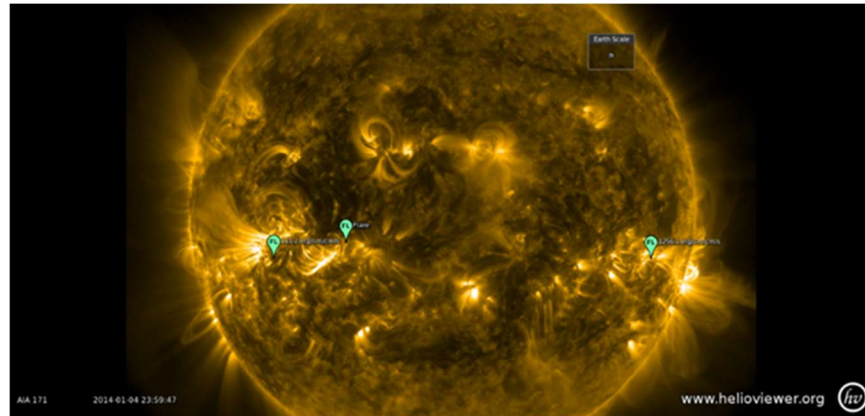


(ب)

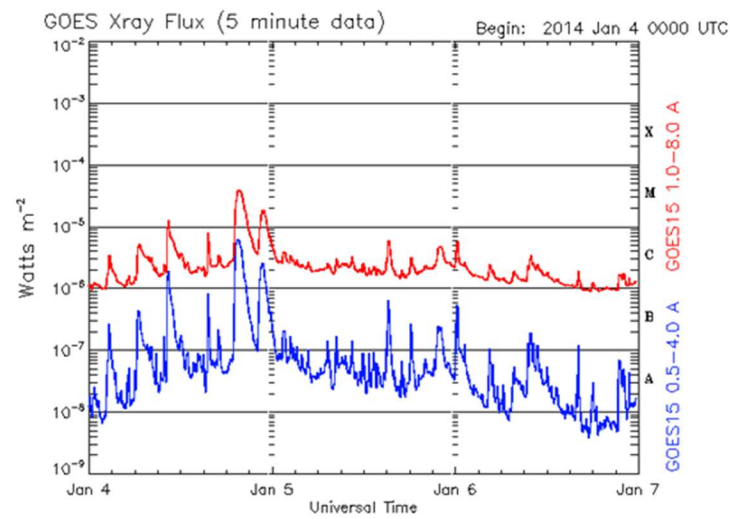


(الف)

شکل ۱۳ تصاویری از لحظه‌ی رخ دادن CME که توسط ماهواره لاسکو با دیسک C3 در ۶،۷ و ۹ ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ گرفته شده است. (الف) تصویر مربوط به دیسک C3 در تاریخ ۰۶-۰۱-۲۰۱۴ در زمان ۱۰/۰۶/۰۶. (ب) تصویر مربوط به دیسک C3 در تاریخ ۰۹-۰۱-۲۰۱۴ در زمان ۰۶/۵۴/۰۵.

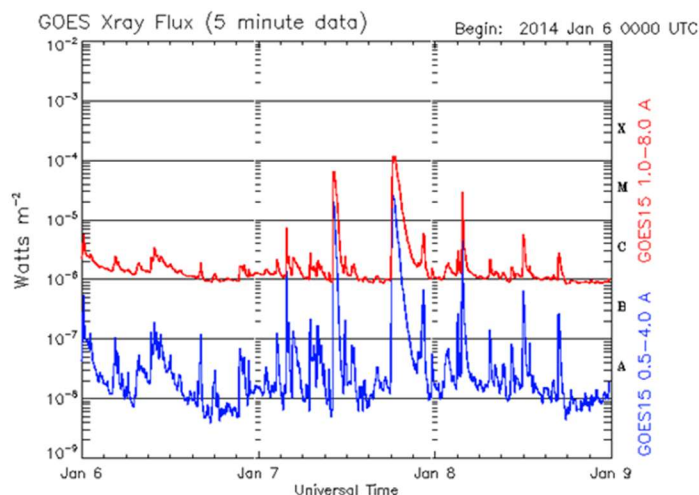


شکل ۱۴ تصویری از رخداد شراره در روز چهارم ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ که توسط ماهواره‌ی SDO در طول موج ۱۷۱ آنگسترم به کمک بسته‌ی ابزار AIA گرفته شده است.



شکل ۱۵ نمودار انرژی پرتو ایکس در روزهای ۴ تا ۷ ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ توسط ماهواره گونس.



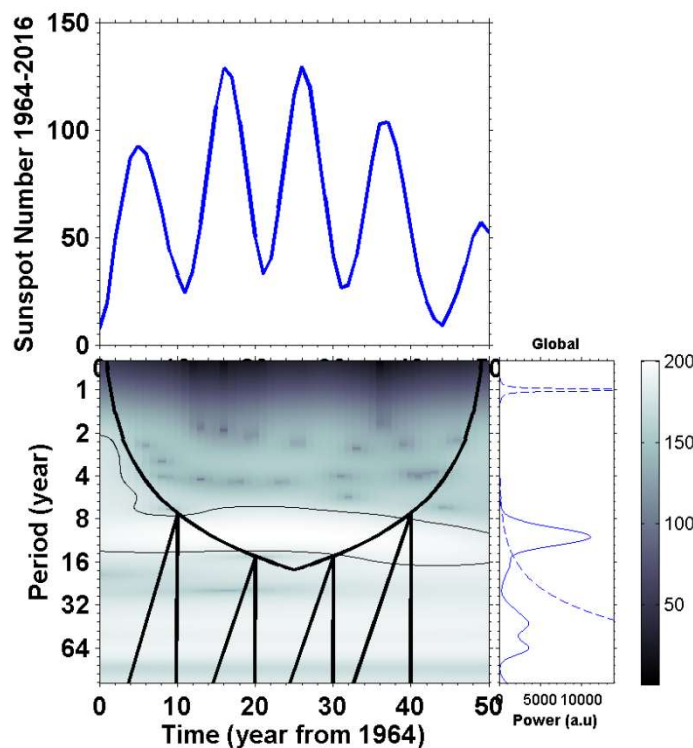


شکل ۱۶ نمودار انرژی پرتو ایکس در روزهای ۶ تا ۹ ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ توسط ماهواره گونس.

ناحیه اطراف یک سیاره را که تحت تاثیر میدان مغناطیسی همان سیاره است، "مغناطیس سپهر یا مگنتوسفر" می گویند. کره زمین نیز مغناطیس سپهر یا مگنتوسفر دارد. مگنتوسفر چون یک پوسته نامرئی میدان مغناطیسی زمین را فرا گرفته است. مگنتوسفر در اثر وزش بادهای خورشیدی تغییر شکل داده و شکل و گستره آن پیوسته تغییر می یابد، اگرچه از هم نمی پاشد. مغناطیس سپهر یا مگنتوسفر زمین، زمین را در برابر بادهای خورشیدی و پرتوها و ذرات خطرناک خورشید محافظت می کند. وزش بادهای خورشیدی و اثرات آن بر میدان مغناطیسی زمین سبب می شود ناحیه نامرئی ویژه ای اطراف زمین تعریف شود که همان مگنتوسفر زمین می باشد. به بیان دیگر، مگنتوسفر مرز میدان مغناطیسی زمین با بادهای خورشیدی است. از این رو، میدان مغناطیسی زمین و مگنتوسفر زمین دو مفهوم جداگانه اما به هم وابسته اند. مگنتوسفر، زمین را از برخی پرتوها و ذرات مضر خورشیدی محافظت می کند.

به منظور بررسی دقیق اثر فعالیت مغناطیسی خورشیدی بر روی لایه مگنتوسفر زمین، به روش مویک طیف توان پارامترهای مهم یعنی تعداد لگه های خورشید و ضریب های مغناطیسی لایه مگنتوسفر زمین را در مدت سال های ۱۹۶۴ تا ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار داده ایم.



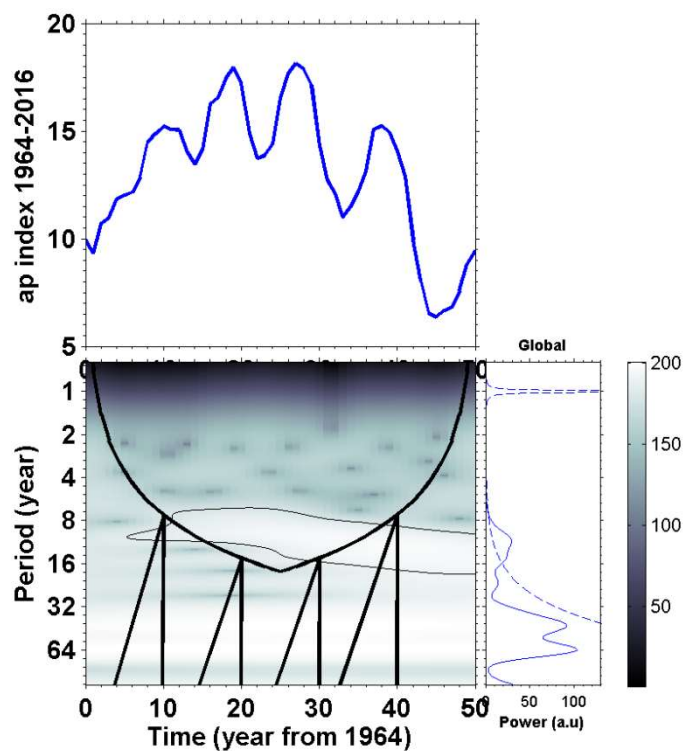


شکل ۱۷ نتایج آنالیز موجک نوسانات تعداد لکه‌های خورشید در مدت سال‌های ۱۹۶۴ تا ۲۰۱۶. شکل بالا نوسانات تعداد لکه‌های خورشید نسبت به زمان و شکل پایین آنالیز موجک است که نوسانات ۱۱ تا ۱۲ ساله غالب قابل مشاهده می‌باشد. ناحیه هاشور زده بر روی شکل منطقه‌ای است که در آن طیف توان موجک به دلیل اثرات نقاط انتهایی سیگنال‌های طولی محدود مختل می‌گردد. شکل پایین راست تبدیل فوریه نوسانات را نشان می‌دهد.

هر کمیت فیزیکی که بر حسب یک پارامتر و یا متغیر جداگانه تغییر کند، "سیگنال" نامیده می‌شود. سیگنال اگر متغیر زمان باشد، "سیگنال زمانی" و اگر متغیر مکان باشد "متغیر مکانی" نامیده می‌شود. دلیل اهمیت این سیگنال‌ها این است که شامل داده‌هایی در مورد منابع خود هستند. از این رو، با پردازش روی سیگنال‌ها می‌توان رفتار منابع را بررسی و پیش‌بینی نمود. در این کار، از روش تحلیل موجک با موج پایه مورلت استفاده شده است که ابزار مهمی برای پردازش نوسانات می‌باشد. شکل - های (۱۸)، (۱۹) و (۲۰) به ترتیب نتایج بررسی موجک را برای متغیرهای تعداد لکه‌های خورشید، ایندکس aa و ایندکس ap نشان می‌دهند. با مقایسه این سه تصویر مشاهده می‌شود که هر سه پارامتر با دوره تناوب کمابیش ۱۱ تا ۱۲ ساله در حال تغییر و نوسان می‌باشند. به بیانی دیگر، با

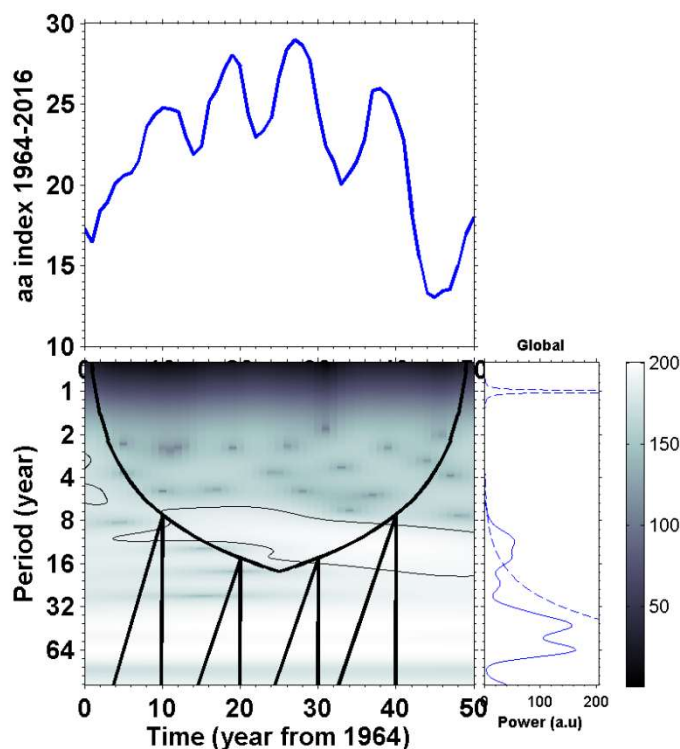


افزایش فعالیت مغناطیسی خورشید که به دنبال آن فوران‌های خورشید نیز بیشتر رخ می‌دهد، وضعیت لایه مگنتوسفر زمین نیز دچار تغییر و دگرگونی شده و می‌تواند بر روی آب و هوای زمین نیز تاثیر بگذارد. با کاهش روند فعالیت‌های مغناطیسی این روند سیر کاهشی می‌یابد.



شکل ۱۸ نتایج آنالیز موجک ایندکس ap در مدت سال‌های ۱۹۶۴ تا ۲۰۱۶. شکل بالا نوسانات ایندکس ap سبت به زمان و شکل پایین آنالیز موجک است که نوسانات ۱۱ تا ۱۲ ساله غالب قابل مشاهده می‌باشد. ناحیه هاشور زده بر روی شکل منطقه‌ای است که در آن طیف توان موجک به دلیل اثرات نقاط انتهایی سیگنال‌های طولی محدود مختل می‌گردد. شکل پایین راست تبدیل فوریه نوسانات را نشان می‌دهد.





شکل ۱۹ نتایج آنالیز موجک ایندکس aa در مدت سال‌های ۱۹۶۴ تا ۲۰۱۶. شکل بالا نوسانات ایندکس aa نسبت به زمان و شکل پایین آنالیز موجک است که نوسانات ۱۱ تا ۱۲ ساله غالب قابل مشاهده می‌باشد. ناحیه هاشورزده بر روی شکل منطقه‌ای است که در آن طیف توان موجک به دلیل اثرات نقاط انتهایی سیگنال‌های طولی محدود مختل می‌گردد. شکل پایین راست تبدیل فوریه نوسانات را نشان می‌دهد.

۳. نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش، اثبات وجود ارتباط نزدیک بین تمامی پدیده‌های سطح خورشید و همچنین، اثبات میدان مغناطیسی خورشید به عنوان مینا و منشا اصلی تمامی رخداد‌های در سطح آن بود. تمرکز بیشتر بر روی دو پدیده شراره‌ها و CME‌ها قرار گرفت. زمانی که در ساختار پیچیده میدان مغناطیسی خورشید تغییراتی محسوس به وجود آید که این تغییرات با فاز چرخه فعالیت خورشید ارتباط نزدیکی دارند، فراوانی چنین پدیده‌هایی در سطح خورشید به روشنی مشاهده



می‌شود. در زمان‌های نزدیک به اوج فعالیت خورشید شراره‌ها بیش از ۵۰ بار، بیشتر از زمانی که خورشید آرام است، شکل می‌گیرند و بازه‌ی زمانی رخداد فوران‌های تاجی ماده، که در شرایط عادی هر چند روز یا هفته‌ای یک بار رخ می‌دهد، به حدود یک روز کاهش می‌یابد. البته این نکته را نیز باید در نظر گرفت که تنها فراوانی و احتمال رخداد این پدیده‌هاست که ارتباطی مشخص با فاز چرخه فعالیت خورشید دارد و هنوز ارتباط روشنی میان شدت پدیده‌های مغناطیسی اشاره شده و سال‌های اوج چرخه فعالیت خورشید مشاهده نشده است. باد خورشیدی نیز در زمان شدت یافتن فعالیت خورشید سریع‌تر و شدیدتر جریان یافته و فاصله‌های دورتری از خورشید در فضای میان سیاره‌ای را پوشش می‌دهد. از این رو، تعداد ذرات بارداری که روانه‌ی جو زمین می‌گردند، افزایش چشمگیری می‌یابد و در نتیجه شفق‌های قطبی گسترده و پرنوری در زمین مشاهده می‌شود. مجموع همه این فعالیت‌ها سبب می‌شود تا قلمرو مغناطیسی خورشید در منظومه شمسی گسترش یابد و سد عظیمی که در برابر تابش‌ها و ذرات کیهانی هجوم آورنده به زمین تشکیل می‌شود، محکم‌تر و مقاوم‌تر از هر زمان دیگری باشد.

این دو پدیده زمانی که میدان مغناطیسی خورشید دچار اختلال شده و حتی گاهی با هم رخ می‌دهند. هنگام رخداد هر دو، انرژی بسیار زیادی به صورت انرژی گرمایی و جنبشی به صورت ناگهانی آزاد می‌شود. اگرچه تفاوت‌هایی نیز با هم دارند. به عنوان نمونه،

(۱) شراره‌ها فوران‌های غول‌آسا از پرتوهای X و پرتوهای هستند که با سرعت نور در همه‌ی جهت‌ها منتشر می‌شوند، ولی CMEها ابرهای غول‌پیکری از ذرات پلاسما هستند که به درون فضا دمیده می‌شوند.

(۲) همچنین، ۱ تا ۳ روز زمان می‌برد تا CMEها به زمین برسند، در حالی که شراره‌ها فاصله‌ی خورشید تا زمین را در ۸ دقیقه می‌پیمایند.

(۳) فوران‌های گوناگونی روی خورشید رخ می‌دهد. هم شراره‌های خورشیدی و هم فوران‌های تاجی با انفجارهایی سهمگینی از انرژی همراهند ولی با این وجود بسیار با هم متفاوتند. این دو پدیده گاهی همزمان رخ می‌دهند. در حقیقت نیرومندترین شراره‌ها کمابیش همیشه با فوران‌های تاجی در ارتباط هستند. ولی هر کدام ذرات متفاوتی را گسیل می‌کنند.

(۴) ظاهر آن‌ها و شیوه جابه‌جایی‌شان متفاوت است و اثرهای متفاوتی را هم در نزدیکی سیاره‌ها ایجاد می‌کنند.



هر دوی این فوران‌ها زمانی پدید می‌آیند که جنبش‌های درونی خورشید میدان‌های مغناطیسی آن را درهم می‌پیچاند و تغییر می‌دهد. این میدان‌ها ناگهان تراز و آرایشی دوباره گرفته و سبب آزاد شدن مقدار زیادی انرژی به فضا می‌گردند. اگر به صورت درخشندگی نوری ناگهانی باشند، شراره خورشید است.

شراره‌ها که مقدار عظیمی انرژی در خود دارند، می‌توانند از چند دقیقه تا چند ساعت دوام بیاورند. درخشش یک شراره که با سرعت نور حرکت می‌کند ۸ دقیقه طول می‌کشد تا به زمین برسد. بخشی از انرژی آزاد شده در شراره سبب شتاب بخشیدن به ذرات بسیار پر انرژی شده که آن‌ها هم چند ده دقیقه بعد به زمین می‌رسند. این پیچ خوردگی‌های مغناطیسی می‌تواند گونه دیگری از انفجار را هم پدید آورد که سبب پرتاب مواد خورشیدی به فضا شده که همان CME می‌باشد.

افزون بر این، یک شراره نوعی طی حدود ۵ دقیقه به بیشینه فعالیت خود می‌رسد و طی حدود ۲۰ دقیقه هم ناپدید می‌شود. برخی از شراره‌ها می‌توانند تا سه ساعت هم دوام بیاورند. بدنبال یک شراره، مقادیر بسیار زیادی انرژی در طول موج‌های پرتو ایکس، گاما و امواج رادیویی آزاد می‌گردد.

ذرات زیراتمی شامل الکترون، که در بسیاری موارد سرعت آن‌ها به نصف سرعت نور می‌رسد، پروتون و تعدادی هم عناصر سنگین‌تر به فضا پرتاب شده به صورت ابری پلاسمایی به محیط بین سیاره‌ای پرتاب می‌شوند. به دنبال برخورد پلاسما و ذرات پرانرژی با تاج امواج، شوک به وجود می‌آید که سطح خورشید را تحت تاثیر قرار داده و موجب به وجود آمدن زبانه‌های جدید می‌شود. این را هم می‌توان با اطمینان گفت که در هر ناحیه از سطح خورشید که لگه‌های خورشیدی وجود داشته باشد، امکان بروز شراره نیز وجود خواهد داشت.

نتیجه تمام این پژوهش‌ها این است که میدان مغناطیسی خورشید نقش اصلی و مهمی را در رخدادن تمامی پدیده‌های خورشیدی ایفا می‌کند. تحرکات و جریان‌های میدان مغناطیسی خورشید است که سبب شتاب گرفتن پلاسما و ذرات باردار خورشید می‌گردد [۵]. در صورت نبود یا فعالیت کم این میدان مغناطیسی، پلاسمای خورشید شتاب و انرژی نخواهد گرفت و به دنبال آن پدیده‌های خورشید رخ نخواهند داد. اگر روش عملکرد صحیح میدان مغناطیسی در فرآیند اتصال دوباره مغناطیسی وجود نداشته باشد، شکل‌گیری CMEها دچار اختلال شده و حتی شاید چنین پدیده‌ای در سطح خورشید رخ ندهد. نتیجه‌ی مهم و دیگری که شاید به نظر نقششان کم‌رنگ به نظر برسد،



داده‌های درست و دقیقی است که ماهواره‌ها به ویژه ماهواره‌های هواشناسی برای پژوهش در اختیار دانشمندان قرار می‌دهند.

نتایج محاسبات عددی دقیق این پژوهش نشان داد که همبستگی قوی بین فعالیت‌های مغناطیسی خورشید و تغییرات ایندکس‌های مشخصه لایه مگنتوسفر زمین وجود داشته که به پیروی آن می‌تواند بر روی اتمسفر زمین نیز تاثیر بگذارد.

۴. تقدیر و تشکر

نویسندگان از داوران محترم برای نظرات و پیشنهادات ارزشمند که منجر به بهبود نسخه اولیه مقاله گردید تقدیر و تشکر می‌نمایند.

منابع

- [1] Tavabi E. & Koutchmy S., "Chromospheric Peculiar Off-limb Dynamical Events from IRIS Observations", *The Astrophysical Journal* **883**, id. 41. 2019. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab3730>.
- [2] Tavabi E., Koutchmy S. and Golub L., "Polar Corona Plumes as Jet-like Tornados", *The Astrophysical Journal* **866**, 35T, 2018. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aadc64>.
- [3] Tavabi E., "Synchronized Observations of Bright Points from the Solar Photosphere to Corona", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **476**, 868-874, 2018. <https://doi.org/10.1093/mnras/sty020>
- [4] Zeighami S., Tavabi E., and Amirkhanlou E, "Waves propagation in network and inter-network bright points channels between the chromosphere and transition regions with IRIS observations", *Journal of Astrophysics and Astronomy* **41**, 1-14, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12036-020-09633-y>.
- [5] Koutchmy S., Tavabi E. & Urtado O., "Observation of galactic cosmic ray Spallation Events from the SoHO mission 20-Year operation of LASCO", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **478**, 1265-1271, 2018. <https://doi.org/10.1093/mnras/sty1205>.
- [6] Williams D. R., Torok T., Demoilin P., van Driel-Gesztelyi L., & Kliem B., "Eruption of a Kink-unstable Filament in NOAA Active Region 10696", *The Astrophysical Journal* **628(2)**, L163, 2005. <https://doi.org/10.1086/432910>.
- [7] Labrose N., Heinzl P., Vial J. C., et al., "Physics of Solar Prominences: I—Spectral Diagnostics and Non-LTE Modelling", *Space Science Reviews* **151**, 243, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11214-010-9630-6>.
- [8] Gopalswamy N., Shimojo M., Lu W., et al., "Prominence Eruptions and Coronal Mass Ejection: A Statistical Study Using Microwave Observations", *The Astrophysical Journal* **586**, 562, 2003. <https://doi.org/10.1086/367614>.
- [9] Filippov B., "A Filament Eruption on 2010 October 21 from Three Viewpoints", *The Astrophysical Journal* **773**, 10, 2013. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/773/1/10>.
- [10] Zuccarello F. P., Seaton D. B., Filippov B., Mierla M., et al., Erratum, "Observational Evidence of Torus Instability as Trigger Mechanism for Coronal Mass Ejections, The



- 2011 August 4 Filament Eruption”, *ApJ*, **795**, 175, 2014. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/785/2/88>.
- [11] Zhang Q. M., Li D., & Ning Z. J., “Simultaneous Transverse and Longitudinal Oscillations in a Quiescent Prominence Triggered by a Coronal Jet”, *The Astrophysical Journal* **851**, 47, 2017. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa9898>.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

