

Investigating the Heating Mechanism of Hot Coronal Loops Using Spectral and Imaging Analysis of the Solar Moss Areas

Mohseni, Sh.¹  | Dadashi, N.¹  

1. Department of Physics, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Corresponding Author E-mail: nedadadashi2@gmail.com

(Received: 3 Jan 2023, Revised: 29 Jan 2023, Accepted: 2 May 2023, Published online: 15 Nov 2023)

Summary

Coronal heating mechanisms are generally classified as waves (AC: Alternating Current) and Direct Current (DC) models. Restricted evidences from both models have been observed over different structures of the solar atmosphere. However, a general model describing the global heating process in the whole solar atmosphere is missing. Active regions are the magnetic anchorages of the solar corona. It is believed that the Active Regions have important contribution in the heating of the corona. ARs are divided into two sub-regions: Warm coronal loops (~ 1 MK) and hot coronal loops (> 1.5 MK). There are strong observational evidence supporting the DC nanoflare model in the warm coronal loops. However, there is still no conclusive answer for the responsible heating mechanism of hot loops. There are some observational evidence indicating the existence of steady heating, some others indicating the impulsive heating, and very lately people have found MHD wave heating signatures in the hot loops. The intrinsic fuzzy nature of hot coronal emission lines made it impossible to isolate the hot loop structures and study their physical properties separately. Therefore, the only way to study the hot loops is to focus on their hot footpoints called "moss" areas, which was discovered in 1999 by Berger et al. using TRACE 171 Å images. The moss emission has a reticulated spongy structure. It is believed that when the hot coronal loops cover the cold plage regions, an inward radial thermal conduction gradient is formed which causes the plasma to heat up and radiate. This radiation is what we call "moss". The dark patches inside the bright moss areas are the cross sections of the cold spicular materials rising upward toward the corona.

Using spectroscopic and imaging data of Interface Region Imaging Spectrograph (IRIS) and Solar Dynamic Observatory (SDO), dynamic properties of the moss areas over an AR is studied. Three boxes of moss regions are selected. The time variation of the intensity, Doppler shift, and line widths of C II 1335.7077 Å and Si IV 1402.770 Å emission lines are investigated. Time series of the intensities over the three selected moss regions are made from IRIS SJI 1400, and 2796, along with AIA/SDO 1700, 304, 1600, 171, 193, 211, 335, 94, and 131 channels. Using FFT technique we obtained oscillatory behavior over the all mentioned parameters. The results show oscillatory behaviors in the line width, Doppler shifts, and line intensities of C II and Si IV spectral lines with periods of 3.9 and 6.9 minutes over the moss areas. 3.9 min oscillations are observed over the AIA 211 passband, as well, which could be an indication of the presence of torsional Alfvén waves coupled with kind mode. High frequency oscillations with 0.9 to 2 min periods are observed over the selected moss regions in AIA hot channels like 335, 131, and 94, as well as Si IV line. This could be an indication of occurring magnetic reconnections above the moss regions in the hot coronal lines, triggering the Alfvén waves in this structure. Therefore, our results support the presence of MHD waves heating mechanisms in the studied moss structures.

Keywords: Plasma, Active Region, MHD waves, Oscillations.

Cite this article: Mohseni, Sh., & Dadashi, N. (2023). Investigating the Heating Mechanism of Hot Coronal Loops Using Spectral and Imaging Analysis of the Solar Moss Areas. *Journal of the Earth and Space Physics*, 49(3), 747-764. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2023.351790.1007488>

E-mail: (1) shadi.mohseni93@gmail.com



Publisher: University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2023.351790.1007488>

Print ISSN: 2538-371X
Online ISSN: 2538-3906

بررسی مکانیزم گرمایشی لوله‌های داغ تاج به کمک مطالعه طیفی و تصویری نواحی موس خورشیدی

شادی محسنی^۱ | ندا داداشی^۱ ✉

۱. گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: nedadadashi2@gmail.com

(دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۳، بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۹، پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۲/۱۲، انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۸/۲۴)

چکیده

نواحی فعال تاج که لنگرگاه‌های مغناطیسی خورشید هستند به دو زیر بخش کلی تقسیم می‌شوند: لوله‌های گرم با دمای ۱ مگا کلون و لوله‌های داغ با دمای بیش از ۱/۵ مگا کلون. شواهد رصدی بسیاری وجود دارد که گرمایش در لوله‌های گرم از طریق مدل یکنواخت نانوشراره‌ای ایجاد می‌شود اما پهنای ذاتی خطوط نشری گسیل شده از تاج، امکان تعیین دقیق نوع گرمایش را در لوله‌های داغ در حاله‌ای از ابهام نهاده است. از این رو برای مطالعه مکانیزم گرمایشی لوله‌های داغ بر نواحی پایه این لوله‌ها که نواحی موس (Moss) نامیده می‌شود، تمرکز می‌کنند. به کمک داده‌های تلسکوپ فضایی آپریس و اس دی او به بررسی تحول دینامیکی و طیفی نواحی موس از یک ناحیه فعال پرداخته‌ایم. نتایج تحلیل نوسانات به روش فوریه روی نواحی موس، نوساناتی با دوره‌تناوب‌های مشترک ۳/۹ و ۶/۹ دقیقه‌ای را در پهنای، شدت و سرعت دوپلری خطوط طیفی Si IV و C II نشان می‌دهد. نوسانات ۳/۹ دقیقه‌ای در کانال داغ AIA ۲۱۱ نیز دیده شدند که می‌تواند مربوط به حضور امواج آلفن پیش‌پیشی کویل شده با امواج مغناطودینامیکی کینک باشد که نهایتاً می‌تواند منجر به گرمایش تاجی از نوع موجی در ساختارهای موس شود. دوره‌تناوب‌های کوتاه بین ۰/۹ تا ۲ دقیقه‌ای نیز در کانال‌های با دمای بالاتر AIA ۳۳۵ و ۱۳۱ و ۹۴ و برخی کانال‌های با دمای میانی مشاهده شد که می‌تواند مربوط به بازاتصال‌های مغناطیسی متوالی در لایه‌های بالای تاجی باشد. این بازاتصال‌ها می‌توانند به‌عنوان عاملی برای تحریک و انتشار امواج آلفن مشاهده شده باشند.

واژه‌های کلیدی: پلاسما، ناحیه فعال، امواج مغناطویدرودینامیک، نوسانات.

۱. مقدمه

دسته حلقه هستند. حلقه‌های گرم با دمای تشکیل ۱ مگا کلون و حلقه‌های داغ با دمای تشکیل بیش از ۱/۵ مگا کلون. شواهد رصدی بسیاری وجود دارد که نشان می‌دهد لوله‌های گرم خود شامل ریز رشته‌های بسیاری هستند که گرمایش در آنها از طریق طوفان‌های نانوشراره‌ای در یک سلسله فرایند تکانشی (Impulsive) صورت می‌گیرد. در این فرایند پس از وقوع نانوشراره (و افزایش شدت تابش) تابش به‌صورت ناگهانی (Cut off) کاسته شده و سرمای رخ می‌دهد. رگباری از این فرایندهای شراره‌ای که می‌توانند در اثر باز اتصالی مغناطیسی بین ریز رشته‌های لوله‌های گرم رخ دهند، نهایتاً منجر به گرمایش لوله‌های گرم نواحی فعال می‌شوند (وارن و همکاران، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۶؛ کلیمچوک، ۲۰۰۹؛

نواحی فعال تاج خورشید که لنگرگاه‌های مغناطیسی خورشید هستند در تابش‌های فرابنفش دور EUV (Extreme Ultraviolet) و پرتوی ایکس به‌صورت نواحی درخشان و با ساختارهای حلقه‌ای پویا بر روی سطح خورشید دیده می‌شوند. مطالعه حرکات و جریان‌ات سیال در این نواحی می‌تواند قیدهای رصدی بر روی مدل‌های گرمایش جو خورشید بگذارد و در جهت حل معمای گرمایش تاج خورشید راه‌گشا و بسیار مؤثر باشد (دوشک و همکاران، ۲۰۰۷؛ هارا و همکاران، ۲۰۰۸؛ بروکس و وارن، ۲۰۰۹؛ وارن و همکاران، ۲۰۰۸؛ داداشی و همکاران، ۲۰۱۲ و اوگارتی اورا و همکاران، ۲۰۰۹). رصدهایی که تلسکوپ فضایی هینوده انجام داده (کولانه و همکاران، ۲۰۰۷) نشان داده که نواحی فعال دارای دو

استناد: محسنی، شادی و داداشی، ندا (۱۴۰۲). بررسی مکانیزم گرمایشی لوله‌های داغ تاج به کمک مطالعه طیفی و تصویری نواحی موس خورشیدی. مجله فیزیک زمین و فضا،

DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2023.351790.1007488>. ۷۶۴-۷۴۷، (۳)۴۹

رایانامه: (۱) shadi.mohseni93@gmail.com



ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2023.351790.1007488>

شد اما بعدها مشخص شد که در تابش Fe XII با طول موج ۱۹۳ آنگستروم بهتر دیده می‌شود. برگر و همکاران (۱۹۹۹) برای تابش موس ضخامت تقریبی ۱ مگامتر را به دست آوردند و مکان تشکیل آن را در ارتفاع ۲-۴ مگامتری بالای سطح مرئی خورشید اعلام کردند. این تابش درون نواحی فعال تاج خورشید (Active Region)، به شکل مناطق تکه تکه‌ای شکل روشن و متخلخل بر فراز نواحی پلاژ کروموسفری در محل پایه‌های لوله‌های داغ ناحیه گذار دیده می‌شوند. برگر و همکاران (۱۹۹۹) در مورد عامل ایجاد این تابش این طور نتیجه گرفتند که وقتی لوله‌های داغ با دمای ۳ تا ۵ مگاکلون روی نواحی پایینی و سردتر پلاژ را می‌پوشانند، یک گرادیان قوی گرمایش رسانشی به صورت قائم و در راستای شعاعی (از تاج به سمت فتوسفر) ایجاد می‌شود که موجب گرم شدن و تابش پلاسما می‌شود که این تابش ایجاد شده همان تابش موس است.

دی پونتو و همکاران (۲۰۰۳) منشأ شکل اسفنجی و تخلخل‌های درون ناحیه موس را به حضور جت‌های اسپیکولی سردتر لایه‌های پایین تر کروموسفری که مواد را به سمت بالا پرتاب می‌کنند (از کروموسفر به تاج) مرتبط دانستند. لازم به ذکر است که اسپیکول‌ها ساختارهای جت ماندی در لایه کروموسفر هستند که پلاسما را به بیرون خورشید پرتاب می‌کنند و مانند گندمزاری تقریباً سرتاسر کروموسفر را پوشانده‌اند. خود دارای دو نوع یک و دو هستند که نوع یک عمری بین ۵ تا ۱۵ دقیقه دارد با سرعت‌های پرتاب کوچک‌تری بین ۲۰ تا ۵۰ کیلومتر بر ثانیه دارند و ارتفاع پرتاب کوچک‌تری دارند، در حالی که اسپیکول‌های نوع دو عمر کوتاه‌تری از مرتبه ۱ تا ۲ دقیقه داشته و با سرعت‌های بیشتری بین ۴۰ تا ۱۵۰ کیلومتر بر ثانیه به ارتفاعات بالاتری از جو خورشید پرتاب می‌شوند (توابی و همکاران، ۲۰۱۵؛ مارتینز سیکورا و همکاران، ۲۰۱۸). فلتچر و دی پونتو (۱۹۹۹) نشان دادند که در دماهای $10^5 \times 1/6$ کلون تابش ثبت شده از پلاژها منطبق بر نواحی موس در بازه زمانی سه تا چهار ساعته کمتر از ۱۰ درصد تغییر دارد. آنها چگالی الکترونی

تریپاتی و همکاران، ۲۰۰۹؛ دلزانا، ۲۰۰۸ و کلیمچوک و همکاران (۲۰۱۰). اما در مورد لوله‌های داغ شواهد رصدی بسیار متفاوتی وجود دارد. برخی از رصدها شواهدی از گرمایش یکنواخت (Heating Steady) نشان داده‌اند که خود زیرشاخه گرمایش نوع DC (Direct Current) است (آنتیوخوس همکاران، ۲۰۰۳؛ بروکس و وارن، ۲۰۰۹؛ وینبارگر و همکاران، ۲۰۰۸). و برخی دیگر شواهدی از حضور گرمایش تکانشی را نشان داده‌اند (بردشاو و کلیمچوک، ۲۰۱۱؛ ویال و کلیمچوک، ۲۰۱۲؛ تستا و همکاران، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۰). اخیراً نارنگ و همکاران (۲۰۱۹) و هاشیم و همکاران (۲۰۲۱) شواهدی از حضور امواج مغناطیویدرودینامیکی و مغناطوآکوستیکی در نواحی موس یافته‌اند که در دسته گرمایش‌های نوع موجی AC (Alternative Current) قرار می‌گیرد.

یکی از دلایل این رصدهای متفاوت این است که خطوط طیفی گسیلی از مناطق داغ تاج (دمای بیش از ۱/۵ مگاکلون) پهنای طیفی زیادی دارند و به همین دلیل تعیین مرز دقیق لوله‌های داغ تاجی تنها با خطاهایی با مقادیر بالا امکان‌پذیر است. به این خاطر نمی‌توان لوله‌های داغ را به طور کامل مجزا کرد و مرزهای آن را با دقت بالایی روی تصاویر مشخص کرد و همین باعث می‌شود که نتوانیم مطالعات و شبیه‌سازی‌های دقیقی از این لوله‌ها انجام دهیم و پارامترهای فیزیکی و ترمودینامیکی این لوله‌ها را با دقت بالا از داده‌های رصدی استخراج کنیم (تریپاتی و همکاران، ۲۰۰۹؛ داداشی و همکاران، ۲۰۱۲). از آنجایی که تابش ناحیه گذار که در نواحی پایه‌های لوله‌های داغ تاجی دیده می‌شود کاملاً مرز مشخص و شفاف دارد برای مطالعه دقیق تر مکانیزم گرمایشی حاکم بر لوله‌های تاجی بایستی به مطالعه این نواحی متمرکز شویم و تا حد امکان تفکیک زمانی و فضایی داده‌های مورد استفاده را زیاد کنیم. تابش ناحیه گذاری که از این نواحی رصد می‌شود تابش موس نامیده می‌شود. تابش موس (moss) برای اولین بار توسط برگر و همکاران در سال ۱۹۹۹ توسط تلسکوپ فضایی تریس (TRACE) در تصاویر Fe X و Fe IX با طول موج ۱۷۱ آنگستروم کشف

نواحی موس را در دمای حدود $1/3$ مگاکلونین حدود $2-5 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ به دست آوردند. آنتیوخوس و همکاران (۲۰۰۳) تغییرات میدان مغناطیسی در این نواحی را در بازه چندین ساعته بررسی کردند و مشاهده کردند که میدان مغناطیسی در این نواحی بسیار آهسته تغییر می کند. آنها تغییرات شدت تابش در ناحیه موس را در بازه مورد مطالعه ضعیف (حدود ۱۰ درصد) برآورد کردند و نشان دادند که تغییرات شدت تابش موس یا ناشی از تغییرات اندک میدان مغناطیسی است و یا ناشی از حرکات مبهم اسپیکول‌ها. بروکس و وارن (۲۰۰۹) تغییرات زمانی شدت تابش و جابه‌جایی دوپلری و پهنای غیرگرمایی یک ناحیه موس را که توسط تلسکوپ فضایی هینوده در یک بازه زمانی ۱۶ ساعته رصد شده بود بررسی کردند و حداکثر ۱۵ درصد تغییرات در این بازه زمانی مشاهده کردند. آنها در این بازه زمانی هیچ نوع جریان شدیدی در نواحی موس مشاهده نکردند و این‌طور نتیجه گرفتند گرمایش در این نواحی باید از نوع شبه‌یکنواخت (Quasi Steady) باشد.

در شبیه‌سازی‌های مربوط به لوله‌های متقارن، هیچ‌گونه شارش سیالی پیش‌بینی نمی‌شود. لوله‌ها در تعادل هیدرواستاتیکی هستند و بنابراین انتظار می‌رود که جابه‌جایی دوپلری‌ای در پایه لوله‌ها دیده نشود. اما اگر کمی عدم تقارن به مسئله اضافه شود، مانند تغییرات جزئی در سطح مقطع لوله‌ها (یا در گرمایش آنها و یا اختلافی جزئی در فشار دو سر لوله‌ها)، در این صورت سیال موجود در لوله می‌تواند جریان یابد و شارشی پایا ایجاد کند (همانند جریان یک سوپه سیفونی). در این صورت یک سمت لوله‌ها جابه‌جایی دوپلری آبی و سمت دیگر دچار جابه‌جایی دوپلری قرمز خواهد شد (بوریس و ماریسکا، ۱۹۸۲؛ ماریسکا و بوریس، ۱۹۸۳؛ پاتسوراکاس و همکاران، ۲۰۰۴). اما اگر گرمایش یکنواخت یا شبه‌یکنواخت در یک لوله نامتقارن از هر دو سمت پایه لوله‌ها رخ دهد می‌تواند منجر به پدیده‌ای به نام تبخیر کروموسفری شود و در نتیجه سیال در دو پایه لوله به سمت بالا حرکت خواهد کرد و در نتیجه در هر دو پایه

لوله جابه‌جایی به آبی رصد خواهد شد. اما اگر گرمایش به صورت تکانشی باشد، از آنجایی که در این مدل لوله‌ها را شامل ریز رشته‌هایی در نظر می‌گیرند که تحت تأثیر حرکات تصادفی فتوسفر به یکدیگر ساییده می‌شوند، در نتیجه قطاری از بازاتصال‌های مغناطیسی در مقیاس ریز ایجاد می‌شود. برخی از این رشته‌ها دچار جابه‌جایی به آبی می‌شوند (در اثر پدیده تبخیر کروموسفری) و برخی دیگر از رشته‌ها در اثر سرد شدن سیال و فروریزش آنها به ارتفاعات پایین‌تر دچار جابه‌جایی به قرمز می‌شوند. بنابراین در این نوع گرمایش هر دو نوع از این جابه‌جایی‌ها همزمان رؤیت می‌شود. جریان‌ات رو به بالا سریع‌تر و ضعیف‌تر و جریان‌ات رو به پایین کندتر و قوی‌تر رخ می‌دهند (پاتسوراکاس و کلیمچوک، ۲۰۰۶). تریپاتی و همکاران (۲۰۰۹) جابه‌جایی به دوپلری خطوط طیفی گسیلی نواحی موس در بازه دمایی $0/7$ تا $1/6$ مگاکلونین را اندازه‌گیری کردند. آنها جابه‌جایی دوپلری را برابر ۲ کیلومتر بر ثانیه با خطای ۴ تا ۵ کیلومتر بر ثانیه به دست آوردند. نتایج آنها نمی‌توانست تمایزی بین گرمایش تکانشی و یکنواخت ایجاد کند. داداشی و همکاران (۲۰۱۲) با ارائه یک تکنیک نوین برای اولین بار جابه‌جایی دوپلری نواحی موس را به صورت مطلق اندازه‌گیری کردند و برای خطوط طیفی گسیلی در گستره دمایی ۱ تا $1/6$ مگاکلونین جابه‌جایی به آبی به اندازه ۵ کیلومتر بر ثانیه و برای خط داغ Fe XV با دمای تشکیل ۲ مگاکلونین جابه‌جایی به قرمزی برابر با ۱ کیلومتر بر ثانیه به دست آوردند. نتایج آنها گرمایش از نوع شبه‌یکنواخت را نشان می‌داد. وینبارگر و همکاران (۲۰۱۳) به کمک داده‌های راکت های‌سی Hi-C (High-resolution Coronal Imager) که دارای دقت فضایی (۰/۱ ثانیه کمانی بر پیکسل) و زمانی (۵/۵ ثانیه) بالاتری نسبت به تلسکوپ‌های فضایی قبلی بود، شواهدی از گرمایش تکانشی (نانوشاره‌ای) در نواحی درونی موس‌ها رؤیت کردند. تستا و همکاران (۲۰۱۴) شواهدی از ذرات غیرگرمایی در لوله‌های تاج به دست آوردند که به صورت تکانشی توسط نانوشاره‌ها

ایجاد شده بودند. نارنگ و همکاران (۲۰۱۹) به کمک داده‌های تلسکوپ فضایی آیریس در خط طیفی Si IV شواهدی از نوسانات فرکانس بالا با دوره تناوب کوتاه ۱ تا ۲ دقیقه‌ای در نواحی درخشان موس به دست آوردند. آنها این نوسانات را نشانه‌ای از حضور امواج مغناطیسی آکوستیک آرام در کنار پدیده‌های بازاتصال مغناطیسی دانستند. هاشیم و همکاران (۲۰۲۱) شواهدی از نوسانات ۵ دقیقه‌ای (P mode) در نواحی موس پیدا کردند که همزمان بود با پرتاب‌های منظم مواد کروموسفری به ارتفاع‌های تاجی. آنها این مطلب را شواهدی قوی بر حضور گرمایش موجی (AC) دانستند که توسط امواج مغناطیسی آکوستیکی ایجاد می‌شود. به نظر می‌رسد که نتایج آنها تأییدی بر مدل گرمایش موجی پمپاژ گرادیان مغناطیسی (MGP) (Magnetic Gradient Pumping) باشد که توسط تان ۲۰۱۴ بیان شد. در این مدل، گرادیان میدان مغناطیسی باعث می‌شود که ذرات پرنرژی به سمت لایه‌های بالاتر حرکت کنند (از لایه‌های پایین‌تر کروموسفری) و جریانات سیالی در جهت برون سو (به سمت تاج) ایجاد کنند. اما تعیین دقیق‌تر مکانیزم گرمایش نیازمند به مطالعات با دقت بیشتری است. رزولوشن فضایی و زمانی و طیفی بالای تلسکوپ فضایی آیریس این امکان را فراهم کرده که تغییرات تابشی ناحیه گذار را با دقت بسیار بالایی در جو خورشید مورد مطالعه قرار دهیم. در این پژوهش از داده‌های همزمان طیفی آیریس و تصویری اس دی او استفاده شده تا تغییرات ریزمقیاس دینامیکی نواحی موس مربوط به یک ناحیه فعال مورد مطالعه قرار گیرد.

۲. روش پژوهش

۲-۱. مشخصات داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از داده‌های تلسکوپ فضایی آیریس (Interface Region Imaging Spectrograph) IRIS (Atmospheric Imaging Assembly) AIA ای‌آی‌آی (Solar Dynamic Observatory) از تلسکوپ فضایی اس‌دی‌او (Solar Dynamic Observatory) که از یک ناحیه فعال خورشیدی به شماره ۱۲۰۱۰ NOAA در تاریخ ۲۱ مارچ ۲۰۱۴ و در زمان جهانی ۱۱:۳۴:۲۸ به مدت حدوداً نیم‌ساعت داده‌برداری کرده‌اند، استفاده شده است. مشخصات داده‌های مورد استفاده در جدول ۱ نمایش داده شده است. داده‌های مورد استفاده، از سطح دو بوده، به این معنی که تمامی اثرات مربوط به جریان تاریک، میدان تخت، اشعه کیهانی، پیکسل‌های داغ تصحیحات هندسی، چرخش دیفرانسیلی خورشید و ضریب مقیاس متفاوت کانال‌های مختلف اصلاح شده است. سپس تصحیح جابه‌جایی دمایی مداری بر روی داده‌های طیفی آیریس صورت گرفته است. از آنجایی که تلسکوپ فضایی آیریس دارای مداری خورشید آهنگ است و در هر دور مداری دو بار از نواحی قطبی و دو بار از نواحی استوایی عبور می‌کند، به‌طور متناوب دچار تغییرات دمایی می‌شود و این تغییرات مراکز خطوط طیفی را دچار جابه‌جایی متناوب سیستماتیک می‌کند. این اثر جابه‌جایی مداری توسط روتین iris_wave_corr.pro اصلاح شده است. آنالیز داده‌ها و برازش‌ها با استفاده از زبان برنامه‌نویسی آی‌دی‌ال (IDL) (Interface Description Language) تحت اس‌اس‌دبلیو (SSW) (Solar Software) انجام شده است.

جدول ۱. مشخصات داده‌های مورد استفاده.

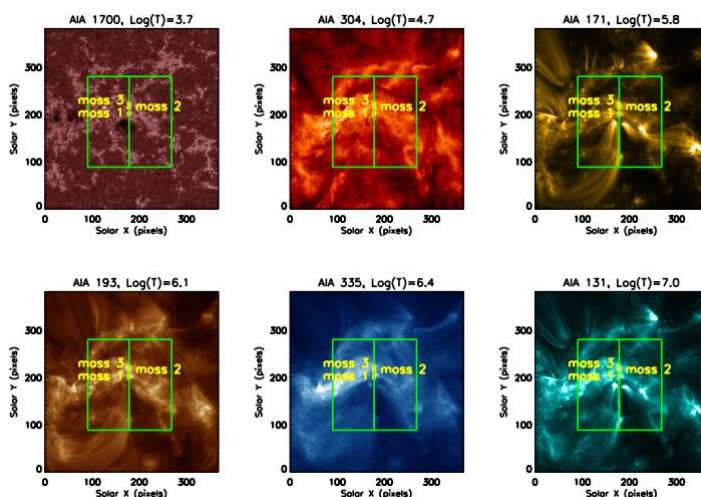
میدان دید	رزولوشن	گام زمانی	داده‌ها
"۱۱۹"X"۰/۱۶۷"	۰/۱۶۷ ثانیه کمانی در راستای عرض خورشیدی	۵/۵ ثانیه	داده‌های رستر (طیفی) آیریس
"۱۱۹"X"۱۱۹"	۰/۱۶۷ ثانیه کمانی در راستای طول و عرض خورشیدی	۱۱ ثانیه	داده‌های شکاف تصویر ساز آیریس (۱۴۰۰ و ۲۷۹۶ آنگستروم)
"۱۱۹"X"۱۱۹"	۰/۶ ثانیه کمانی در راستای طول و عرض خورشیدی	۱۲ ثانیه	داده‌های ای‌آی‌آی کانال‌های ۱۶۰۰ و ۱۷۱ و ۱۹۳ و ۳۳۵ و ۳۰۴ و ۱۳۱ و ۹۴ آنگستروم

۲-۲. انتخاب نواحی موس

نواحی موس که پایه‌های لوله‌های داغ هستند در تصاویر کانال ۱۹۳ آنگستروم ای‌آی‌آی به خوبی دیده می‌شوند و انتخاب نواحی موس با اعمال یک مقدار آستانه در شدت تابش (شدت‌های بیشتر از ۰/۵ شدت ماکزیمم در کل ناحیه فعال مورد مطالعه) در این کانال صورت می‌گیرد (مطابق روش توضیح داده شده در مقالات دی پونتو و همکاران (۲۰۰۳) و وارن و همکاران (۲۰۰۸)). در این پژوهش چون یکی از اهداف، مطالعه طیفی نواحی موس بوده، نواحی موس‌ای برای بررسی انتخاب شدند که از نظر مکانی بر روی شکاف اسپکترومتر آیریس قرار گرفته‌اند. مطابق با شکل ۱، سه ناحیه موس بر روی شکاف اسپکترومتر قابل رؤیت است که به عنوان موس‌های شماره ۱ و ۲ و ۳ به صورت نواحی مربعی به ابعاد سه پیکسل در ۹ پیکسل (مجموعاً ۹ پیکسل در یک ناحیه) انتخاب شده‌اند. جهت کاهش نویز احتمالی میانگین شدت در این نه پیکسل به ازای هر تصویر (در یک زمان مشخص) حساب شده و به شدت کل در آن لحظه نرمالایز می‌شود و سپس به صورت یک رشته زمانی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. البته قبل از تحلیل باید اثر دیگری را که در تمامی پیکسل‌های تصویر موجود است (تابش پس‌زمینه)

را از داده اصلی کاست. برای این کار دو ناحیه به عنوان تصویر پس‌زمینه انتخاب و میانگین شدت نرمالایز شده آنها از شدت تابش‌های پیکسل‌های نواحی موس کاسته شده است.

برای بررسی رفتار دینامیکی نواحی موس ۱ و ۲ و ۳ در سایر ارتفاعات جوی، شدت تابش‌های نواحی موس انتخابی در سایر کانال‌های ابزار ای‌آی‌آی شامل (AIA 1700, AIA 1600, AIA 304, AIA 171, AIA 193, AIA 211, AIA 335, AIA 94, AIA 131) نیز مورد بررسی و نورسنجی قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که تفکیک فضایی هر پیکسل در تصاویر ای‌آی‌آی به اندازه ۰/۶ ثانیه کمانی است در حالی که داده‌های آیریس در هر پیکسل دارای رزولوشن فضایی ۰/۱۶۷ ثانیه کمانی هستند. بنابراین هنگام مطالعه تصاویر و طیف مربوط به تلسکوپ فضایی آیریس مربع‌های انتخاب شده از ناحیه موس به صورت ۱۱ پیکسل در ۱۱ پیکسل انتخاب شده‌اند تا دقیقاً بر روی همان نواحی ۳ پیکسل در ۳ پیکسل انتخابی تصاویر ای‌آی‌آی قرار گیرند و سپس میانگین‌گیری و به‌هنگار کردن شدت تابش و کاهش تابش پس‌زمینه برای آنها انجام شده است.



شکل ۱. پنجره‌های این شکل تصاویر یک ناحیه فعال خورشیدی به شماره NOAA 12010 را در کانال‌های AIA 171, AIA 193, AIA 335, AIA 131 نمایش می‌دهند. این تصاویر در تاریخ ۲۱ مارچ ۲۰۱۴ و در زمان جهانی ۱۱:۳۴:۲۸ ثبت شده‌اند. مربع‌های سبز ناحیه مورد مطالعه در تلسکوپ آیریس را نشان می‌دهد که خط سبزی که این مربع را از وسط به دونیم کرده، محل شکاف اسپکترومتر را نشان می‌دهد. نواحی موس ۱ و ۲ و ۳ بر روی تمامی تصاویر مشخص شده‌اند. لوله‌های داغ‌تر در کانال‌های ۳۳۵ AIA و ۱۳۱ AIA مشاهده می‌شوند.

۳-۲. برازش تابع گاوسی به داده‌های طیفی

نشان می‌دهند.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O-E)^2}{E} \quad (2)$$

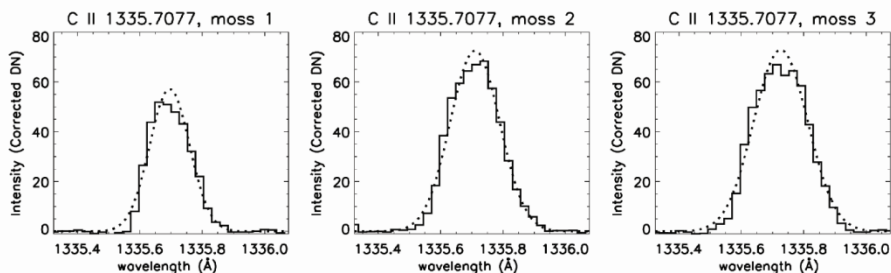
هرچه مقدار کای اسکوتر به نسبت تعداد کل داده‌ها کوچک‌تر باشد به معنی همبستگی بیشتر بین داده‌ها و تابع فیت شده است. شکل ۲ چند نمونه از ضعیف‌ترین خطوط طیفی C II با طول موج ۱۳۳۵/۷۰۷۷ آنگستروم و توابع گاوسی فیت شده بر آنها را نمایش می‌دهد که طبق مقادیر کای اسکوتر به دست آمده، با وجود ضعیف بودن خود طیف، فیت گاوسی خوبی روی آنها انجام شده است. سپس با قرار دادن ضرایب B و C به دست آمده از برازش گاوسی (که از جنس طول موج هستند)، در فرمول جابه‌جایی دوپلری (معادله ۳)، سرعت‌های دوپلری و پهنای خطوط طیفی بر حسب کیلومتر بر ثانیه به دست می‌آیند. در این فرمول λ_0 طول موج سکون، $\Delta\lambda$ تفاضل طول موج رصد شده از طول موج سکون و c سرعت نور است. بنابراین تا این جای کار به ازای هر پیکسل از تصویر سه پارامتر شدت خط طیفی، سرعت دوپلری و پهنای خطوط طیفی به دست می‌آید. با تکرار انجام فیت گاوسی بر روی تمامی پیکسل‌های تصویر در تمامی زمان‌ها، می‌توان نقشه‌های شدت، جابه‌جایی دوپلری و پهنای طیفی را رسم کرد و برای هر یک از نواحی ۱ و ۲ و ۳ موس، سه رشته زمانی از تغییرات شدت، تغییرات سرعت دوپلری و تغییرات پهنای خطوط طیفی ایجاد کرد.

$$v = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \quad (3)$$

داده‌های طیفی مورد استفاده در این پژوهش خطوط گسیلی C II و با طول موج ۱۳۳۵/۷۰۷۷ آنگستروم (با لگاریتم دمای تشکیل بین ۳/۷ تا ۷) و Si IV با طول موج ۱۴۰۲/۷۷۰ آنگستروم (با لگاریتم دمای تشکیل ۳/۷ تا ۵/۲) هستند. داده‌های طیفی به صورت مکعبی هستند که دو بعد آن شامل طول خورشیدی و عرض خورشیدی و بعد سوم آنها طول موج طیف است. به این ترتیب به ازای هر پیکسل از تصویر روی سطح خورشید (که دارای طول و عرض خورشیدی مشخصی است) یک طیف گسیلی خواهیم داشت. نمونه این طیف‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. برای استخراج پارامترهایی مانند مرکز طیف و پهنای طیف و شدت قله طیف می‌بایست یک تابع گاوسی را به همراه یک تابع ثابت با معادله شماره ۱ به هر یک از طیف‌های مربوطه برازش کرد.

$$f(x) = A \exp\left(-\frac{(x-B)^2}{2C^2}\right) + D \quad (1)$$

ضرایب A، B، C و D به ترتیب در معادله بالا به ترتیب نشان‌دهنده دامنه شدت قله طیف، مرکز قله طیف و پهنای خط طیفی و شدت تابش یکنواخت پس‌زمینه هستند و به عنوان نتایج فیت انجام شده، به دست می‌آیند. این کار به کمک روتین eis_auto_fit.pro از بسته ابزار SSW انجام شده است که مبنای آن استفاده از روش کمترین مربعات (least square fitting) است. میزان خوب بودن فیت انجام شده با پارامتری به نام کای اسکوتر (χ^2) سنجیده می‌شود (معادله ۲). به طوری که O و E به ترتیب مقادیر داده‌های رصد شده و داده‌های فیت شده را



شکل ۲. پنجره‌های تصویر سه نمونه از ضعیف‌ترین حالت‌های خط طیفی C II با طول موج ۱۳۳۵/۷۰۷۷ آنگستروم را در گام زمانی شماره ۳۰ (هر گام زمانی در این بخش ۵/۵ ثانیه است) نشان می‌دهد. توابع گاوسی فیت شده به صورت خطوط نقطه‌چین بر روی داده‌های طیفی نمایش داده شده‌اند. مقادیر کای اسکوتر فیت‌ها کوچک و به ترتیب برابر با ۲۳/۲۴ برای موس ۱ و ۱۸/۲۸ برای موس ۲ و ۱۸/۰۲ برای موس شماره ۳ است که نشان‌دهنده میزان خوب بودن فیت‌های انجام شده است.

۲-۴. آنالیز فوریه سریع

پس از انتخاب نواحی موس ۱ و ۲ و ۳، بایستی تحول زمانی شدت تابش نواحی موس در کانال‌های دمایی مختلف مورد بررسی قرار گیرد. برای سنجش میزان نوسانی بودن و استخراج فرکانس (دوره تناوب) غالب این تابش‌ها، از آنالیز فوریه سریع استفاده شده است. در مورد داده‌های طیفی نیز همان‌طور که در بخش ۲-۳ اشاره شد برای هر یک از موس‌های انتخابی ۱ و ۲ و ۳ در هر یک از دو خط طیفی (C II و Si IV) سه رشته زمانی مربوط به تغییرات شدت، تغییرات سرعت دوپلری و تغییرات پهنای خطوط طیفی خواهیم داشت که به کمک تبدیل فوریه سریع، فرکانس‌های غالب موجود در آنها استخراج شده و در انتها مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

۳. اندازه‌گیری، مشاهده و محاسبه

۳-۱. دینامیک پارامترهای طیفی نواحی موس

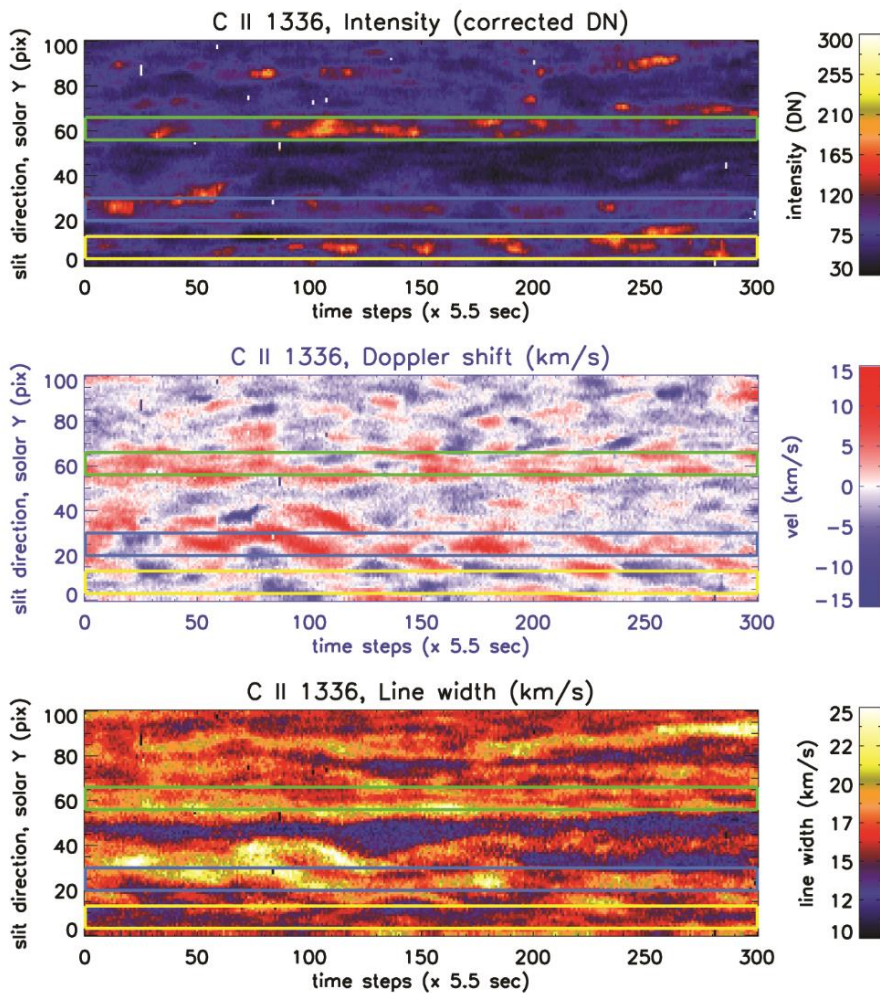
شکل‌های ۳ و ۴ نقشه‌های شدت تابش C II با طول موج ۱۳۳۵/۷۰۷۷ آنگستروم و Si IV با طول موج ۱۴۰۲/۷۷۰ آنگستروم حاصل برازش گاوسی انجام شده را نشان می‌دهند. محور عمودی عرض خورشیدی را برحسب پیکسل نشان می‌دهد و از آنجایی که داده‌های طیفی مورد مطالعه به صورت sit_and_stare برداشته شده‌اند، یعنی در تمام مدت داده‌برداری شکاف اسپکترومتر مکان ثابتی را بر روی خورشید دارد (یک طول خورشیدی معین). بنابراین محور افقی گام‌های زمانی را نشان می‌دهد که شامل ۳۰۰ گام زمانی است که هر گام زمانی ۵/۵ ثانیه طول کشیده است.

تحول زمانی شدت تابش، جابه‌جایی دوپلری و پهنای خطوط طیفی مربوط به تک‌تک پیکسل‌های موجود در نواحی موس شماره ۱، ۲ و ۳ در مدت زمان مورد مطالعه در ناحیه‌ای به صورت مستطیل‌های زرد و آبی و سبز بر روی نقشه‌های شدت شکل‌های ۳ و ۴، نمایش داده شده است. علاوه بر نواحی موس، دو ناحیه با شدت فعالیت کمتر، به‌عنوان نواحی پس‌زمینه ۱ و پس‌زمینه ۲ جهت مقایسه انتخاب شده‌اند. شدت تابش در هر یک از این نواحی

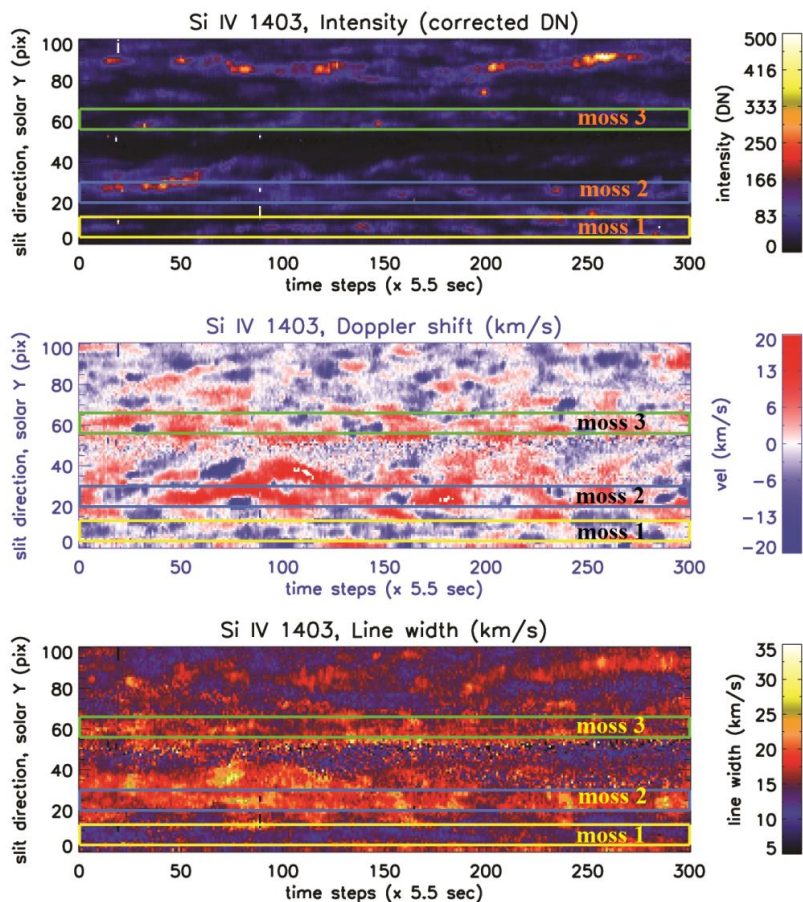
موس و پس‌زمینه، در یک گام زمانی معین در راستای شکاف اسپکترومتر میانگین‌گیری می‌شوند و به این ترتیب رشته‌های زمانی ناشی از تغییرات شدت تابش، تغییرات جابه‌جایی دوپلری و تغییرات پهنای خطوط طیفی در هر یک از نواحی موس و پس‌زمینه برای هر یک از این دو یون به دست می‌آید. در هر دو نقشه شدت نشان داده شده در شکل‌های ۳ و ۴ رفتاری پالس‌گونه و موجی به صورت ظهور نواحی روشن متناوب بر روی نواحی موس شماره ۱ و ۲ و به شکل محوتری در موس شماره ۳ به صورت کیفی و با چشم قابل رؤیت است که می‌تواند نشانه‌ای از وجود پدیده‌ای موج‌گونه و نوسانی باشد. علاوه بر این، اگر به موس شماره ۱ از یون C II در شکل ۳ نگاه کنیم، جابه‌جایی‌های دوپلری در نیمه بالایی و پایینی نواحی موس تقریباً هم اندازه (حدود ± 8 km/s) و با علامت مخالف بوده و در دوره‌هایی که با خط‌چین سفید مشخص شده است، علامت سرعت‌های دوپلری عوض می‌شوند. تغییر علامت سرعت‌های دوپلری در دوسوی موس نشان از حرکت پیچشی یک‌سویه پلاسما در ناحیه موس دارد و عوض شدن علامت سرعت‌های دوپلری پس از مدت زمان مشخص به معنی عوض شدن جهت حرکت پیچشی یک‌سویه پلاسما است. این رفتار طبق شبیه‌سازی مغناطوهیدرودینامیک سه‌بعدی (3D MHD) ایده‌آل از اسپیکول‌های خورشیدی که توسط آنتولین و همکاران (۲۰۱۸) انجام شده و در شکل ۵ مقاله آنها نمایش داده شده است، می‌تواند یکی از نشانه‌های حضور موج آلفن پیچشی کوپل شده با مد کینک از امواج مغناطوهیدرودینامیک باشد. تغییر علامت سرعت‌های دوپلری در این خط طیفی برای سه دوره تناوب ثابت می‌ماند (۲۶۰ ثانیه معادل با ۳/۴ دقیقه) و سپس دوره تناوب چهارم به ۶/۶ دقیقه افزایش می‌یابد. تغییرات علامت سرعت دوپلری (و در نتیجه حرکات پیچشی پلاسما که جهت آن پس از مدت زمانی به تناوب تغییر می‌کند) برای یون Si IV نیز دیده می‌شود اما با دوره تناوب‌های به نسبت کوچک‌تری (حدود ۱۶۵ ثانیه معادل با ۲/۸ دقیقه) نسبت به یون C II. با دقت به نقشه‌های پهنای خطوط طیفی در

انجام داده‌ایم. این آنالیز بر روی نواحی پس‌زمینه ۱ و ۲ نیز انجام شده است و نتایج حاصله برای یون‌های C II و Si IV در جدول‌های ۲ و ۳ خلاصه شده است. دوره تناوب-های غالب با فونت بولد و رنگ زرشکی در جدول مشخص شده است. به‌عنوان مثال برای یون C II دوره تناوب ۳/۹ و ۹/۲ و ۶/۹ دقیقه‌ای در شدت، ۵/۵ و ۳/۹ دقیقه‌ای در جابه‌جایی دوپلری و ۶/۹ و ۴/۳ دقیقه‌ای در پهنای خطوط طیفی دیده می‌شود که نزدیکی خوبی با دوره تناوب‌های رصد شده به‌صورت چشمی از روی نقشه‌های شکل ۳ و ۴ دارد (۳/۴ دقیقه‌ای و ۶/۶ دقیقه‌ای) و بنابراین می‌تواند منشأ موجی داشته باشد.

شکل‌های ۳ و ۴ می‌توان دید که جریان‌های سیال رو به بالا (بلوشیفت‌ها) پهنای خط کمتر، و جریان‌های رو به پایین پهنای طیفی بیشتری از خود نشان می‌دهند که با توجه به این که جریان‌های رو به پایین، سردتر بوده و از چگالی بالاتری برخوردارند، این رفتار کاملاً مورد انتظار است زیرا این خطوط طیفی دارای سهم بزرگ‌تری از پهنای برخوردی هستند. برای بررسی دقیق‌تر رفتار نوسانی در نواحی موس ۱، ۲ و ۳، بر روی سری زمانی مربوط به هر یک از پارامترهای حاصل از برازش، همچون شدت و سرعت دوپلری و پهنای خطوط طیفی (که به نحوه محاسبه آن در بخش ۲-۳ اشاره شد)، تبدیل فوریه سریع



شکل ۳. نقشه‌های مکانی-زمانی شدت تابش، جابه‌جایی دوپلری و پهنای خط طیفی C II در ناحیه طول‌موجی ۱۳۳۵/۷۰۷۷ آنگستروم. رفتاری پالس‌گونه و موجی به‌صورت ظهور نواحی روشن متناوب بر روی نواحی موس شماره ۱ و ۲ و به شکل محوتری در موس شماره ۳ به‌صورت کیفی قابل رؤیت است. خطوط نقطه‌چین سفید رنگ در نقشه دوپلری موس ۱ دوره تناوب عوض شدن ردشیفت و بلوشیفت دردوسوی موس شماره ۱ را نشان می‌دهد که طبق شبیه‌سازی آنتولین و همکاران (۲۰۱۸) یکی از نشانه‌های حضور موج آلفن پیچشی کوپل شده با مد کینک است.



شکل ۴. نقشه‌های مکانی-زمانی شدت تابش، جابه‌جایی دوپلری و پهنای خط طیفی Si IV در ناحیه طول‌موجی ۱۴۰۲/۷۷۰ آنگستروم. رفتاری پالس‌گونه و موجی به صورت ظهور نواحی روشن متناوب بر روی نواحی موس شماره ۱ و ۲ و به شکل محوتری در موس شماره ۳ به صورت کیفی قابل رؤیت است.

جدول ۲. نتایج اولیه مربوط به دوره‌تناوب‌های به‌دست‌آمده از سری زمانی یون C II با طول‌موج ۱۳۳۵/۷۰۷۷ آنگستروم.

مناطق مورد مطالعه	دوره‌تناوب شدت تابش (دقیقه) (خطا ± 0.1 دقیقه)	دوره‌تناوب جابه‌جایی دوپلری (دقیقه) (خطا ± 0.1 دقیقه)	دوره‌تناوب پهنای خطوط طیفی (دقیقه) (خطا ± 0.1 دقیقه)
منطقه موس ۱	۳/۱ و ۵/۵ و ۳/۹	۲/۸ و ۵/۵	۲/۰ و ۶/۹
منطقه موس ۲	۴/۶ و ۹/۲	۲/۵ و ۵/۵ و ۳/۹	۳/۹ و ۶/۹
منطقه موس ۳	۲/۳ و ۴/۶ و ۳/۴ و ۶/۹	۲/۰ و ۲/۳ و ۳/۹ و ۵/۵	۴/۶ و ۲/۵ و ۴/۳
منطقه پس‌زمینه ۱	۹/۲ و ۵/۵	۲/۵ و ۱/۴ و ۴/۶ و ۹/۲	۲/۸ و ۳/۴ و ۴/۶
منطقه پس‌زمینه ۲	۱/۲ و ۲/۰ و ۲/۵ و ۵/۵ و ۳/۴	۱/۸ و ۲/۵ و ۳/۴ و ۴/۶	۲/۵ و ۶/۹

تناوب ۱/۷ دقیقه‌ای مشترک نیز در جابه‌جایی دوپلری و شدت تابش این خط طیفی به‌عنوان مد غلب سوم و چهارم دیده می‌شود. به‌جز دوره‌تناوب‌های کوتاه ۲/۵ و ۱/۷ دقیقه‌ای، سایر دوره‌تناوب‌های این خط مشابه دوره‌تناوب‌های غالب و ذکر شده مربوط به خط طیفی کربن دواست.

در مورد یون Si IV دوره‌تناوب ۳/۹ و ۳/۴ و ۶/۹ دقیقه‌ای در شدت، ۲/۵ و ۳/۹ و ۳/۴ دقیقه‌ای در جابه‌جایی دوپلری و ۳/۹ و ۲/۵ دقیقه‌ای در پهنای خطوط طیفی دیده می‌شود. دوره‌تناوب ۲/۵ دقیقه‌ای به‌عنوان دومین و سومین مد غالب نوسانی در سرعت دوپلری و شدت تابش این خط طیفی نیز دیده می‌شود. دوره

جدول ۳. نتایج اولیه مربوط به دوره‌تناوب‌های به‌دست‌آمده از سری زمانی یون Si IV با طول موج ۱۴۰۲/۷۷۰ آنگستروم

مناطق مورد مطالعه	دوره تناوب شدت تابش (دقیقه) (خطا $\pm 0/1$ دقیقه)	دوره تناوب جابه‌جایی دوپلری (دقیقه) (خطا $\pm 0/1$ دقیقه)	دوره تناوب پهنای خطوط طیفی (دقیقه) (خطا $\pm 0/1$ دقیقه)
منطقه موس ۱	۱/۱ و ۲/۳ و ۱/۷ و ۱/۴ و ۳/۹	۱/۷ و ۶/۹ و ۲/۵	۲/۵ و ۵/۵ و ۳/۹
منطقه موس ۲	۱/۷ و ۲/۵ و ۳/۴ و ۶/۹	۱/۷ و ۲/۵ و ۳/۹	۳/۱ و ۶/۹ و ۴/۶ و ۲/۵
منطقه موس ۳	۲/۳ و ۱/۷ و ۶/۹ و ۳/۴	۱/۷ و ۲/۵ و ۳/۴	۳/۱ و ۱/۴ و ۲/۱ و ۵/۵ و ۲/۵
منطقه پس‌زمینه ۱	۳/۹ و ۵/۵	۳/۱ و ۳/۹ و ۹/۲	۲/۱ و ۳/۹
منطقه پس‌زمینه ۲	۶/۹ و ۳/۴ و ۲/۵	۱/۸ و ۴/۶ و ۳/۴	۳/۴ و ۶/۹

یونیده با دمای تشکیل ۶۳۰ هزار کلوین پایین‌ترین بخش ناحیه تاج خورشید است. کانال ۱۹۳ آنگستروم کانال پهن باندی است که دو پیک دمایی در آن دیده می‌شود که مربوط به آهن یازده بار یونیده و بیست‌وسه بار یونیده با دماهای تشکیل به ترتیب ۱/۳ و ۲۰ مگا کلوین است. کانال‌های ۲۱۱ و ۳۳۵ و ۹۴ و ۱۳۱ آنگستروم نیز به ترتیب مربوط به خطوط طیفی آهن سیزده، پانزده، هفده و نوزده بار یونیده با دماهای تشکیل ۶/۳ و ۶/۴ و ۶/۸ و ۷/۰ مگا کلوین هستند. تصاویر SJI آیریس ۱۴۰۰ و ۲۷۹۶ به ترتیب مربوط به خط طیفی دوقلوی C IV در طول موج‌های ۱۳۹۳/۷۶ و ۱۴۰۴/۷۷ آنگستروم (با دمای تشکیل بین ۳/۷ تا ۵/۲ مگا کلوین) و خطوط اچ و کا منیزیم یک‌بار یونیده (با دمای تشکیل بین ۳/۷ تا ۴/۲ مگا کلوین) هستند. دوره‌تناوب‌های غالب با فونت بولد و رنگ زرشکی در جدول مشخص شده است.

۲-۳. دینامیک شدت تصاویر در لایه‌های دمایی مختلف از نواحی موس

پس از تشکیل سری زمانی کانال‌های مختلف دمایی از نواحی موس و اعمال تبدیل فوریه سریع دوره‌تناوب غالب نوسانات این نواحی نیز استخراج و در جدول ۴ خلاصه شده است. کانال ۱۷۰۰ آنگستروم پیوستار مربوط به ناحیه دمای مینیمم در فوتوسفر را نشان می‌دهد با دمایی در حدود ۵۳۰۰ کلوین. کانال ۳۰۴ آنگستروم مربوط به ارتفاع کمی بالاتر در جو خورشید است. ناحیه کروموسفر با دمای حدودی ۵۰۰۰۰ کلوین. این خط طیفی ناشی از تابش لیمان آلفا هلیوم یک‌بار یونیده است. کانال ۱۶۰۰ آنگستروم شامل پیوستار لیمان خطوط طیفی Si I و خط طیفی دوقلوی C IV در طول موج‌های ۱۵۴۸ و ۱۵۵۰ آنگستروم است که دمای تشکیلی حدود ۱۰۰۰۰۰ کلوین دارد و تقریباً پایه ناحیه گذار در جو خورشید را تشکیل می‌دهد. کانال ۱۷۱ آنگستروم مربوط به آهن هشت‌بار

جدول ۴. دوره تناوب‌ها، یون‌های موجود و اطلاعات دمایی مناطق موس ۱ و ۲ و ۳.

	دمای معمول (log T[K])	یون‌های اصلی در این کانال‌ها	دوره تناوب شدت تابش موس ۱ (دقیقه)	دوره تناوب شدت تابش موس ۲ (دقیقه)	دوره تناوب شدت تابش موس ۳ (دقیقه)
AIA ۱۷۰۰	۳/۷	پیوستار	۱/۶ و ۲/۱ و ۳/۱ و ۴/۶	۱/۵ و ۱/۸ و ۳/۵ و ۹/۲ ۲/۳	۰/۲ و ۲/۵ و ۳/۹ و ۵/۵ ۱/۵ و ۱/۱
AIA ۳۰۴	۴/۷	He II	۲/۳ و ۳/۹ و ۵/۵	۳/۹ و ۳/۱ و ۶/۹	۴/۶
AIA ۱۶۰۰	۵/۰	C IV پیوستار	۲/۱ و ۱/۷ و ۳/۱ و ۴/۶	۱/۸ و ۳/۴ و ۲/۸ و ۹/۲ ۲/۳ و ۱/۵ و ۴/۶	۲/۵ و ۳/۴ و ۵/۵ و ۹/۲ ۱/۷ و ۱/۵ و ۲/۰
AIA ۱۷۱	۵/۸	Fe IX	۳/۵ و ۵/۵	۳/۵ و ۵/۵	۳/۱ و ۹/۳ و ۵/۵
AIA ۱۹۳	۶/۱ و ۷/۳	Fe XII, Fe XXIV	۲/۱ و ۳/۱ و ۵/۵	۳/۵ و ۴/۶ و ۹/۲	۲/۵ و ۶/۹
AIA ۲۱۱	۶/۳	Fe XIV	۳/۹	۳/۹	۱/۵ و ۶/۹ و ۴/۶
AIA ۳۳۵	۶/۴	Fe XVI	۲/۳ و ۴/۶ و ۹/۲	۱/۸ و ۴/۶ و ۹/۲	۱/۰ و ۹/۲ و ۴/۶
AIA ۹۴	۶/۸	Fe XVIII	۰/۹ و ۱/۱ و ۲/۸	۰/۹ و ۱/۲ و ۳/۵ و ۴/۶ ۲/۱ و ۱/۳	۱/۵ و ۱/۱ و ۲/۰ و ۵/۵ ۳/۹ و
AIA ۱۳۱	۷/۰ و ۷/۲	Fe XX, Fe XXIII	۱/۳ و ۳/۵ و ۵/۵ و ۲/۰ و ۰/۸ و ۱/۶ و ۱/۴	۰/۹ و ۱/۲ و ۳/۵ و ۴/۶ ۲/۱ و ۱/۳	۱/۱ و ۰/۹ و ۹/۲ و ۴/۶ ۲/۰ و
SJI_۱۴۰۰	۳/۷ و ۵/۲	Si IV	۲/۵ و ۳/۹ و ۵/۵ و ۹/۲ ۱/۸ و ۱/۶	۱/۶ و ۲/۱ و ۳/۴ و ۶/۹ ۱/۴	۳/۹ و ۲/۳ و ۲/۰ و ۶/۹ ۱/۰ و ۱/۳
SJI_۲۷۹۶	۳/۷ و ۴/۲	Mg II h/k	۱/۶ و ۱/۵ و ۳/۱ و ۲/۵	۱/۴ و ۲/۸ و ۳/۴ و ۲/۱ ۱/۸ و ۱/۶	۲/۸ و ۶/۹ و ۲/۱ و ۱/۵

۴. بحث

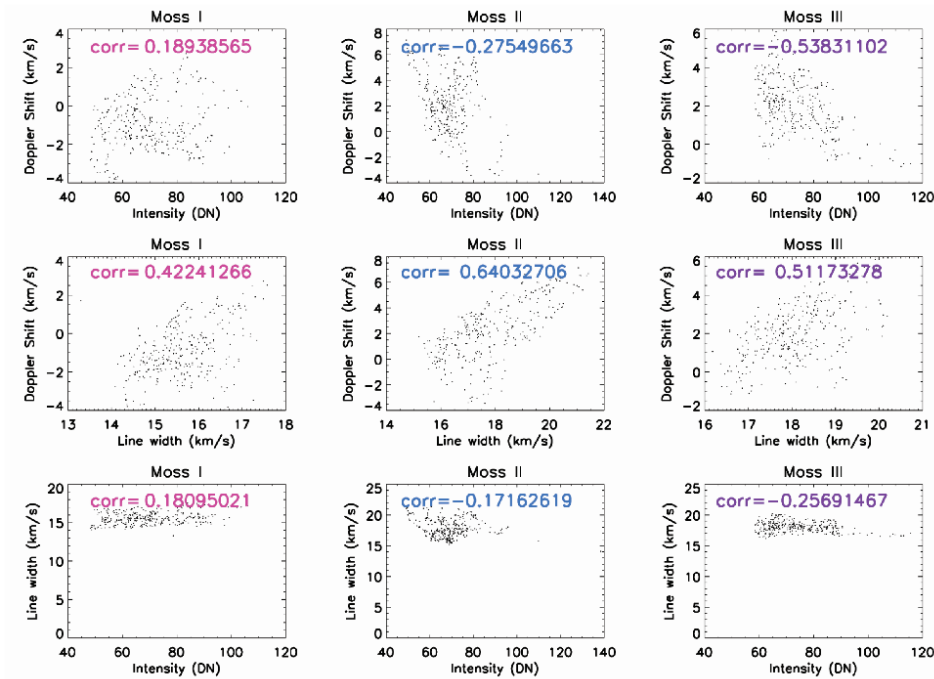
آنگستروم همبستگی خوب مثبتی بین جابه‌جایی دوپلری و پهنای خط طیفی در هر سه ناحیه موس دیده می‌شود. یعنی با افزایش پهنای خط طیفی، سرعت‌های دوپلری به قرمز افزایش می‌یابند و سیال رو به سمت خورشید به پایین حرکت می‌کند. از آنجایی که حرکات رو به پایین معمولاً هنگام سرد شدن پلاسما رخ می‌دهد، افزایش پهنای خط طیفی می‌تواند به خاطر افزایش سهم پهنای برخوردی باشد که کاملاً قابل انتظار است. از طرفی همبستگی کوچک منفی‌ای بین شدت و پهنای خط طیفی نیز دیده می‌شود به طوری که با افزایش شدت، پهنای خط طیفی کاهش می‌یابد. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که افزایش شدت بایستی موجب کاهش (منفی/آبی شدن)

همان‌طور که در بخش قبل دیده شد، نتایج تحلیل نوسانات به روش فوریه نشان می‌دهند که هم در شدت، هم در جابه‌جایی دوپلری (مرکز خط طیفی) و هم در پهنای هر دو خط طیفی نوساناتی مشهود هستند و به نظر می‌رسد که این نوسانات از نوع امواج آلفن باشند. برای بررسی دقیق‌تر رفتارهای پارامترهای استخراج شده از برازش گاوسی این خطوط طیفی، نمودارهای پراکندگی بین سرعت دوپلری-شدت، سرعت دوپلری-پهنای خط طیفی و پهنای خط طیفی-شدت برای یون‌های C II و Si IV در نواحی موس ۱ و ۲ و ۳ در شکل‌های ۵ و ۶ نمایش داده شده است. برای یون C II با طول موج ۱۳۳۵/۷۰۷۷

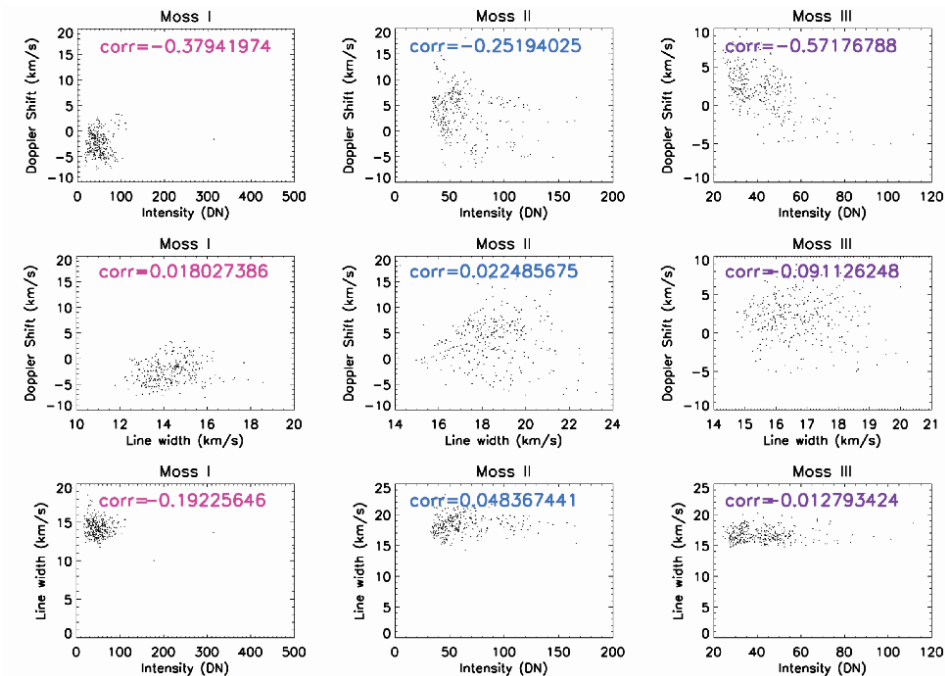
۶/۳ مگاکلون دوره تناوب ۳/۹ دقیقه‌ای بر فراز نواحی موس نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که این دوره تناوب ۳/۹ دقیقه‌ای منشأی متفاوت نسبت به دوره تناوب ۳ دقیقه‌ای غالب در نواحی کروموسفر داشته باشد (صادقی و توایی، ۲۰۲۲الف؛ صادقی و توایی، ۲۰۲۲ب؛ ماجارسکا، ۲۰۱۹). کانال AIA ۱۶۰۰ که دمای تشکیلی کمی بالاتر از Si IV دارد نیز علاوه بر نوسانات ۳ تا ۴ دقیقه‌ای، نوساناتی با دوره تناوب ۲/۱ دقیقه و حتی کوتاه‌تر (تا ۰/۹ دقیقه) نیز نشان می‌دهند. این نوسانات ۲/۱ دقیقه‌ای و کوتاه‌تر در کانال‌های داغ‌تر AIA ۳۳۵ با دمای تشکیلی ۶/۴ مگاکلون و AIA ۱۶۰۰ با دمای تشکیلی ۶/۸ مگاکلون و AIA ۱۶۰۰ با دمای تشکیلی ۷/۰ مگاکلون نیز بر فراز نواحی موس دیده می‌شود. اما منشأ ایجاد این نوسانات احتمالاً آلفنی چیست؟ با نگاه به منحنی نوری تغییرات شدت در کانال‌های AIA (نمایش داده شده در شکل ۷) می‌توان دید که در گام زمانی ۳۰ (هرگام زمانی برای تصاویر برابر با ۱۲ ثانیه است)، کانال‌های داغ‌تر مانند ۳۳۵ و ۱۳۱ و ۹۴ دچار افزایش ناگهانی شدت تابش (و در نتیجه گرمایش) شده از همین بازه زمانی به بعد فرایند سرمایش (و کاهش شدت تابش) در کانال‌های با دمای پایین‌تر دیده می‌شود. که می‌تواند منشأی همچون رخ دادن بازاتصال مغناطیسی در لایه‌های بالایی و داغ بر فراز نواحی موس داشته باشد و عاملی برای تحریک و انتشار امواج آلفن مشاهده شده در لایه‌های داغ و میانی با دوره تناوب کوتاه حدود ۲ دقیقه‌ای و کمتر باشد. تستا و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشانه‌هایی از حضور الکترون‌های غیر گرمایی (با عمر کمتر از ۳۰ ثانیه) تولید شده از طریق فرایندهای باز اتصالی مغناطیسی (نانوشراهای) در نواحی موس یافته‌اند که به نظر می‌رسد در توافق با یافته‌های این بخش از پژوهش حاضر است.

سرعت دوپلری شود. یعنی نقاط پرشدت مربوط به جریانات برون سو پهنای طیفی کمتر و نقاط کم‌شدت مربوط به جریانات رو به پایین (و سردتر) دارای پهنای طیفی بیشتری هستند که در بالا نیز اشاره شده بود. دوره تناوب مشترک در نوسانات شدت قله و سرعت دوپلری این خط ۳/۹ دقیقه است (با روش آنالیز فوریه) که با مقدار ۳/۴ دقیقه که به صورت چشمی با نگاه به نقشه سرعت‌ها (شکل ۳) به دست آمد توافق خوبی دارد. از طرفی با روش آنالیز فوریه بین پهنای و شدت این خط طیفی نیز دوره تناوب مشترک ۶/۹ دقیقه به دست آمد. بنابراین به نظر می‌رسد که این دو دوره تناوب منشأ موجی داشته باشند و یکی از کاندیداها مربوط به کوپل شدن امواج آلفن پیچشی و کینک است. اگر این دوره تناوب‌ها که در ارتفاعات بالاتر تاجی که خطوط داغ‌تری نیز دارند دیده شوند، احتمال وجود امواج آلفن را تقویت می‌کنند.

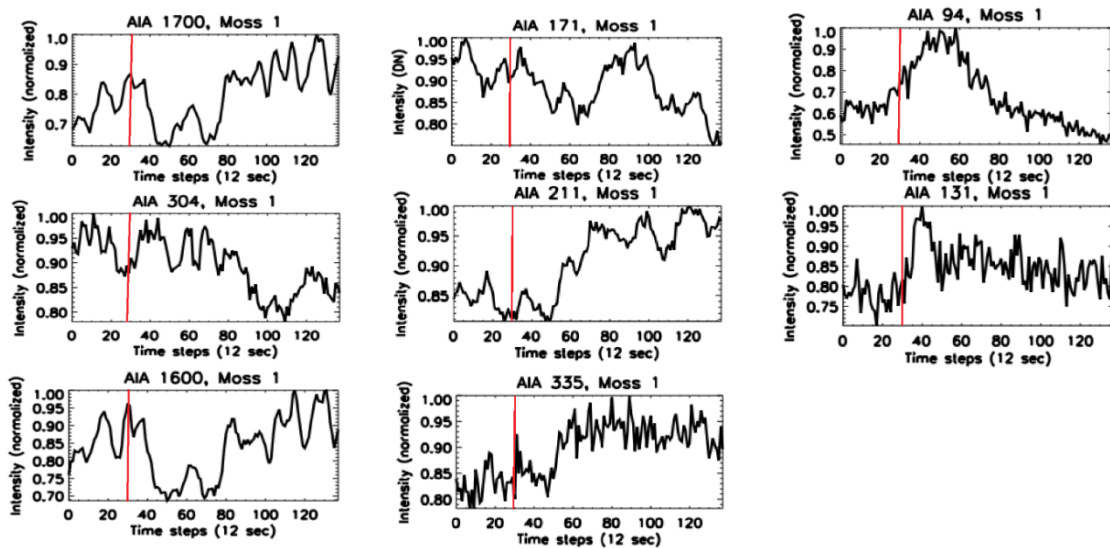
برای یون Si IV با طول موج ۱۴۰۲/۷۷۰ آنگستروم، بین جابه‌جایی خط دوپلری و شدت خط طیفی در هر سه ناحیه موس همبستگی منفی دیده می‌شود. یعنی با افزایش شدت تابش خط طیفی، جابه‌جایی به آبی افزایش می‌یابد و سیال از سمت خورشید به بیرون حرکت می‌کند (رفتاری همانند یون C II). در سایر موارد همبستگی معناداری دیده نمی‌شود. نتایج تحلیل فوریه علاوه بر دوره تناوب‌های ۶/۹ و ۳/۹ دقیقه‌ای، دوره تناوب‌های مشترک کوتاه‌تری مانند ۲/۵ و ۱/۷ دقیقه‌ای نیز بین پارامترهای مختلف طیفی این یون نشان می‌دهد. یون Si IV دمای تشکیلی بالاتری نسبت به یون C II دارد و بنابراین به نظر می‌رسد در لایه‌های داغ‌تر امواج با دوره تناوب کوچک‌تری ظاهر می‌شوند. با نگاه به نتایج جدول ۴ می‌توان دید که خط AIA ۲۱۱ با دمای تشکیلی



شکل ۵. نمودارهای پراکنندگی برای جابه‌جایی دوپلری-شدت، جابه‌جایی دوپلری-پهنای خط طیفی و پهنای خط طیفی-شدت (به ترتیب از بالا به پایین) برای سه ناحیه موس ۱ و ۲ و ۳ (به ترتیب از چپ به راست) برای یون $C II$ با طول موج $1335/7077$ آنگستروم. همان‌طور که دیده می‌شود جابه‌جایی خط دوپلری و پهنای خط طیفی در هر سه ناحیه موس با هم همبستگی مثبت خوبی دارند. یعنی با افزایش پهنای خط طیفی، جابه‌جایی به قرمز افزایش می‌یابد و سیال رو به سمت خورشید به پایین حرکت می‌کند.



شکل ۶. نمودارهای پراکنندگی برای جابه‌جایی دوپلری-شدت، جابه‌جایی دوپلری-پهنای خط طیفی و پهنای خط طیفی-شدت (به ترتیب از بالا به پایین) برای سه ناحیه موس ۱ و ۲ و ۳ (به ترتیب از چپ به راست) برای یون $Si IV$ با طول موج $1402/770$ آنگستروم. همان‌طور که دیده می‌شود جابه‌جایی خط دوپلری و شدت خط طیفی در هر سه ناحیه موس با هم همبستگی منفی دارند. یعنی با افزایش شدت تابش خط طیفی، جابه‌جایی به آبی افزایش می‌یابد و سیال از سمت خورشید به بیرون حرکت می‌کند. در سایر موارد همبستگی معناداری دیده نمی‌شود.



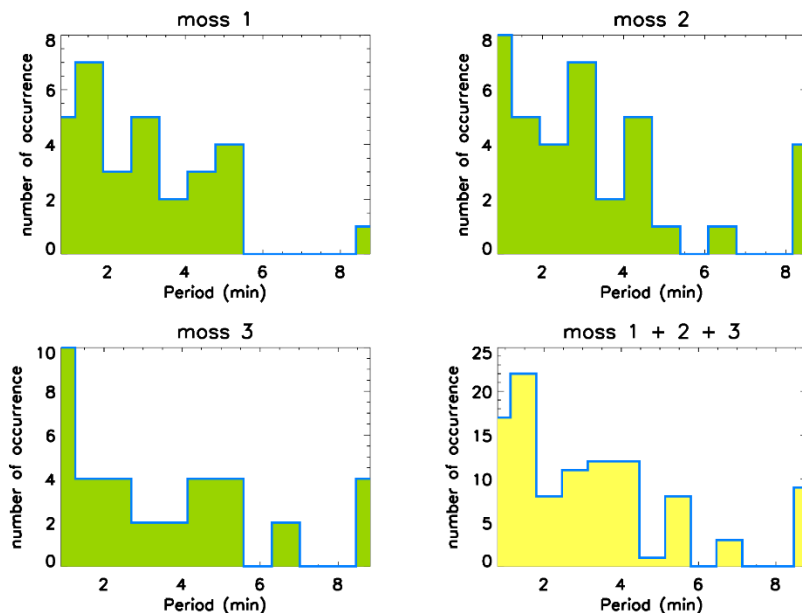
شکل ۷. منحنی نوری تغییرات شدت در کانال‌های AIA نمایش داده شده است. در گام زمانی ۳۰ که با خط قرمز بر روی تمامی پنجره‌ها مشخص شده، کانال‌های داغ‌تر مانند ۳۳۵ و ۱۳۱ و ۹۴ دچار افزایش ناگهانی شدت تابش (و در نتیجه گرمایش) شده از همین بازه زمانی به بعد فرایند سرمایش (و کاهش شدت تابش) در کانال‌های با دمای پایین‌تر دیده می‌شود. که می‌تواند منشأی همچون رخ دادن بازاتصال مغناطیسی در لایه‌های بالایی و داغ بر فراز نواحی موس داشته باشد و عاملی برای تحریک و انتشار امواج آلفن مشاهده شده در لایه‌های داغ و میانی با دوره تناوب کوتاه حدود ۲ دقیقه‌ای و کمتر باشد.

برابر با $0/9$ و $4/9$ و $6/7$ و $8/8$ دقیقه‌ای است. کل نواحی موس در مجموع تمامی کانال‌های ای‌آی‌ای دوره تناوب‌های $1/5$ و $3/8$ و $5/5$ و $6/8$ و $8/8$ دقیقه‌ای نشان می‌دهند. دوره تناوب‌های حدود ۵ دقیقه که در تمامی نواحی موس رؤیت شدند می‌توانند منشأ فتوسفری (P مد) داشته باشند. این نوسانات مغناطیسی آکوستیکی می‌توانند ناشی از گرم و سرد شدن متناوب این ناحیه و یا ناشی از جریان متناوب سیال به سمت بالا و پایین باشند. هاشیم و همکاران (۲۰۲۱) نیز امواج مغناطیسی آکوستیک با دوره تناوب ۵ دقیقه‌ای در ناحیه موس گزارش کرده‌اند که در توافق با نتایج پژوهش حاضر است.

اما نتایج، حضور دوره تناوب بلند و مشترک دیگری را نیز در تمامی نواحی موس ۱ و ۲ و ۳ نشان می‌دهد (دوره تناوب $8/8$ دقیقه‌ای) که به دلیل پراکندگی دمایی ظهور این دوره تناوب در کانال‌های AIA، امکان تحلیل دقیق منشأ بروز آن به کمک داده‌های حاضر غیرممکن بوده و نیازمند بررسی بیشتر با داده‌های بیشتری است.

نارنگ و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از آنالیز موجک به کمک داده‌های تلسکوپ فضایی آپریس برای خط طیفی Si IV با طول موج $1402/770$ آنگستروم در ناحیه موس نوساناتی با دوره تناوب کوتاه ۱-۲ دقیقه‌ای یافته و گزارش کرده‌اند. آنها دلیل ایجاد این نوسانات را به حضور همزمان امواج مغناطیسی آکوستیکی آرام به همراه فرایندهای بازاتصال مغناطیسی مانند تعبیر کردند که به نظر می‌رسد از جهات زیادی در توافق با پژوهش حاضر است. البته ما در این پژوهش شواهدی از نوسانات با دوره تناوب کوتاه در لایه‌های داغ بالایی، بر فراز نواحی موس نیز یافته‌ایم.

شکل ۸، هیستوگرام دوره تناوب‌های به دست آمده در مجموع تمامی کانال‌های ای‌آی‌ای به ترتیب برای موس شماره ۱ و ۲ و ۳ (نمودارهای سبز رنگ) و مجموع نواحی موس (نمودار زرد رنگ) را نمایش می‌دهد. قله دوره تناوب‌های مشاهده شده در موس شماره ۱ برابر با $1/5$ و $3/0$ و $5/1$ و $8/8$ دقیقه‌ای، در موس شماره ۲ برابر با $0/9$ و $3/0$ و $4/4$ و $6/4$ و $8/5$ دقیقه‌ای و در موس شماره ۳



شکل ۸. هیستوگرام دوره تناوبها در مجموع تمامی کانالهای ای آی ای به ترتیب برای موس شماره ۱ و ۲ و ۳ (نمودارهای سبزنگ) و مجموع نواحی موس (نمودار زردنگ) نمایش داده شده است.

۵. نتیجه گیری

دوره تناوب ۲/۸ دقیقه ای برای خط طیفی Si IV مشاهده شد. تحلیل فوریه این پارامترها دوره تناوبهای ۳/۹ و ۶/۹ دقیقه ای را برای هر دو یون در هر سه پارامتر مورد مطالعه (سرعت، پهنا، شدت) نشان دادند.

نوسانات ۳/۹ دقیقه ای در کانال داغ AIA ۲۱۱ نیز دیده شدند که همان طور که از نتایج شبیه سازی سه بعدی مغناطویدرودینامیکی آنتولین و همکاران (۲۰۱۸) انتظار می رود، این نوسانات می تواند مربوط به حضور امواج آلفن پیچشی کوپل شده با امواج مغناطویدینامیکی کینک باشد که نهایتاً می تواند منجر به گرمایش تاجی از نوع موجی در ساختارهای موس شود.

تابش های با دوره تناوب کوتاه از ۰/۹ تا ۲ دقیقه در کانال های داغ تر AIA ۳۳۵ و AIA ۱۳۱ و AIA ۹۴ ظاهر شدند که در توافق با کار تستا و همکاران (۲۰۲۰) بوده و می تواند نشان از حضور الکترون های غیر گرمایی تولید شده از طریق فرایندهای بازاتصال مغناطیسی (نانوشاره ای) باشد. این بازاتصال های مغناطیسی می توانند به عنوان عاملی برای تحریک ایجاد امواج آلفنی باشند.

نوسانات ۵ دقیقه ای که در تمامی نواحی موس رؤیت شدند می توانند منشأ فتوسفری (P مد) داشته باشند. در

در این پژوهش، با هدف بررسی نحوه تغییرات دینامیکی پارامترهای طیفی و تصویری در ناحیه موس از داده های طیفی و تصویری تلسکوپ های فضایی آپریس و اس دی ا با حداکثر تفکیک فضایی و زمانی استفاده شده است. پس از انتخاب سه ناحیه موس خورشیدی، تحولات زمانی سه پارامترهای طیفی (شدت تابش، سرعت دوپلری و پهنا ی خط طیفی) یون های C II با طول موج ۱۳۳۵/۷۰۷۷ آنگستروم) و Si IV (با طول موج ۱۴۰۲/۷۷۰ آنگستروم) و نیز تحولات زمانی شدت تابش در این سه ناحیه در کانال های مختلف دمایی ابزار ای آی ای (۱۷۰۰ فوریه سریع در این نواحی موس خورشیدی مورد بررسی قرار گرفتند و میزان همبستگی پارامترهای مختلف با یکدیگر سنجیده شدند و نتایج نشان از حضور امواج گرمایش موجی در ناحیه موس دارد. این نتایج عبارت اند از:

به کمک نقشه های سرعت دوپلری، پهنا و شدت خطوط طیفی نوساناتی به صورت چشمی و کیفی با دوره تناوب های ۳/۴ و ۶/۶ دقیقه برای خط طیفی C II و

ممکن بوده و نیازمند بررسی بیشتر با داده‌ست‌های بیشتری است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از پیشنهادات و راهنمایی‌های بسیار مفید و ارزشمند داوران و نیز از مشورت و راهنمایی آقای دکتر حسین صفری بسیار تشکر می‌کنند. همچنین از سازمان‌های فضایی NASA و ESA بابت در اختیار قرار دادن داده‌های تلسکوپ‌های فضایی SDO و IRIS تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- Antiochos, S. K., Karpen, J. T., Deluca, E. E., Golub, L., & Hamilton, P. (2003). Constraints on Active Region Coronal Heating. *The Astrophysical Journal*, 590(1), 547-553.
- Antolin, P., Schmit, D., Pereira, T. M. D., De Pontieu, B., & De Moortel, I., (2018). Transverse Wave Induced Kelvin-Helmholtz Rolls in Spicules. *The Astrophysical Journal*, 856(44), 1-17.
- Banerjee, D., Erdélyi, R., Oliver, R., & O'Shea, E. (2007). Present and Future Observing Trends in Atmospheric Magnetoseismology. *Solar Physics*, 246(1), 3-29.
- Berger, T. E., De Pontieu, B., Schrijver, C. J., & Title, A. M. (1999). High-resolution Imaging of the Solar Chromosphere/Corona Transition Region. *The Astrophysical Journal*, 519(1), 97-100.
- Boris, J. P., & Mariska, J. T. (1982). An explanation for the systematic flow of plasma in the solar transition region. *Astrophysical Journal*, 258, L49-L52.
- Bradshaw, S. J., & Klimchuk, J. L. (2011). What Dominates the Coronal Emission Spectrum During the Cycle of Impulsive Heating and Cooling?. *The Astrophysical Journal Supplement*, 194(2), 1-26.
- Brooks, D. H., & Warren, H. P. (2009). Flows and Motions in Moss in the Core of a Flaring Active Region: Evidence for Steady Heating. *The Astrophysical Journal Letters*, 703(1), 10-13.
- Culhane, J. L., Hara, L. K., & James, A. M. (2007). The EUV Imaging Spectrometer for Hinode. *Solar Physics*, 243, 19-61.
- Dadashi, N., Teriaca, L., Tripathi, D., Solanki, S. K., & Wiegmann, T. (2012). Doppler shift of hot coronal lines in a moss area of an active region. *Astronomy and Astrophysics*, 548(A115), 10.
- De Pontieu, B., Tarbell, T., & Erdélyi, R. (2003). Correlations on Arcsecond Scales between Chromospheric and Transition Region Emission in Active Regions. *The Astrophysical Journal*, 590(1), 502-518.
- Del Zanna, G. (2008). Flare lines in Hinode EIS spectra. *Astronomy & Astrophysics*, 481(1), L69-L72.
- Doschek, G. A., Mariska, J. T., & Warren, H. P. (2007). Nonthermal Velocities in Solar Active Regions Observed with the Extreme-Ultraviolet Imaging Spectrometer on Hinode. *The Astrophysical Journal*, 667(1), L109-L112.
- Fletcher, L., & De Pontieu, B. (1999). Plasma Diagnostics of Transition Region "Moss" using SOHO/CDS and TRACE. *The Astrophysical Journal*, 520(2), L135-L138.
- Hara, H., Watanabe, T., & Hara, L. K. (2008). Coronal Plasma Motions near Footpoints of Active Region Loops Revealed from Spectroscopic Observations with Hinode EIS. *The Astrophysical Journal Letters*, 678(1), L67.
- Hashim, P., Hong, Z.-X., Ji, H.-S., Shen, J.-H., Ji, K.-F., & kao, W.-D. (2021). Observation of solar coronal heating powered by magneto-acoustic oscillations in a moss region. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 21(4), 105-111.
- Jess, D. B., Morton, R. J., Verth, G., Fedun, V., Grant, S. D. T., & Giagkiozis, I. (2015). Multiwavelength studies of MHD waves in the solar chromosphere: An overview of recent results. *Space Science Reviews*, 190, 103-161.
- Klimchuk, J. A. (2006). On Solving the Coronal Heating Problem. *Solar Physics*, 234, 41-77.

واقع نوسانات شدت تابش در لوله‌های تاج و پایه لوله‌های تاج (نواحی موس) اغلب به‌عنوان شاهد غیرمستقیمی از حضور نوسانات مغناطوآکوستیک تعبیر شده (جس و همکاران، ۲۰۱۵؛ بنرجی و همکاران، ۲۰۰۷؛ ناکاریاکف و ورویخت، ۲۰۰۵). پریدا هاشیم و همکاران (۲۰۲۱) نیز امواج مغناطو آکوستیک با دوره‌تناوب ۵ دقیقه‌ای در ناحیه موس گزارش کرده‌اند که در توافق با نتایج پژوهش حاضر است.

- نوساناتی با طول‌موج بلند ۸/۸ دقیقه‌ای نیز در تمامی نواحی موس ۱ و ۲ و ۳ دیده شدند که به‌دلیل پراکندگی دمایی ظهور این دوره‌تناوب در کانال‌های AIA، امکان تحلیل دقیق منشأ بروز آن به‌کمک داده‌های حاضر غیر

- Klimchuk, J. A. (2009). Coronal Loop Models and Those Annoying Observations! (Keynote). *The Second Hinode Science Meeting: Beyond Discovery-Toward Understanding*, 415, 221.
- Klimchuk, J. A., Karpen, J. T., & Antiochos, S. K. (2010). Can thermal nonequilibrium explain coronal loops?. *The Astrophysical Journal*, 714(2), 1239-1248.
- Madjarska, M. (2019). Coronal Bright Points. *Living Reviews in Solar Physics*, 16(2), 1-79.
- Mariska, J. T., & Boris, J. P. (1983). Dynamics and spectroscopy of asymmetrically heated coronal loops. *The Astrophysical Journal*, 267, 409-420.
- Martinez-Sykora, J., De Pontieu, B. D., De Moortel, I., Hansteen, V. H., & Carlsson, M. (2018). Impact of type II spicules in the corona: Simulations and Synthetic Observables. *The Astrophysical Journal*, 860(116), 1-12.
- Nakariakov, V. M., & Verwichte, E. (2005). Coronal Waves and Oscillations. *Living Reviews in Solar Physics*, 2(3), 1-65.
- Narang, N., Pant, V., Banerjee, D., & Van Doorselaere, T. (2019). High-Frequency Dynamics of Active Region Moss as Observed by IRIS. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 6(36), 1-12.
- Patsourakos, P., & Klimchuk, J. A. (2006). Nonthermal Spectral Line Broadening and the Nanoflare Model. *The Astrophysical Journal*, 647(2), 1452-1465.
- Patsourakos, S., Klimchuk, J. A., & MacNeice, P. J. (2004). The Inability of Steady-Flow Models to Explain the Extreme-Ultraviolet Coronal Loops. *The Astronomical Journal*, 603(1), 322-329.
- Sadeghi, R., & Tavabi, E. (2022a). Characteristics of chromospheric oscillation periods in magnetic bright points. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 512(3), 4164-4170.
- Sadeghi, R., & Tavabi, E. (2022b). A new approach to kinetic energy flux at the different frequencies above the IRIS Bright Points. *The Astrophysical Journal*, 938(1), 74.
- Tan, B. (2014). Coronal heating driven by a magnetic gradient pumping mechanism in solar plasmas. *The Astrophysical Journal*, 795(140), 1-7.
- Tavabi, E., Koutchmy, S., Ajabshirizadeh, A., Ahangarzadeh Maralani, A. R., Zeighami, S. (2015). Alfvénic waves in polar spicules. *Astronomy & Astrophysics*, 573, A4.
- Testa, P., De Pontieu, B., Allred, J., Carlsson, M., & Reale, F. (2014). Evidence of nonthermal particles in coronal loops heated impulsively by nanoflares. *Science*, 346(6207), 1-4.
- Testa, P., Polito, V., & De Pontieu, B. (2020). IRIS Observations of Short-term Variability in Moss Associated with Transient Hot Coronal Loops. *The Astrophysical Journal*, 124.
- Tripathi, D., Mason, H. E., Dwivedi, B. N., del Zanna, G., & Young, P. R. (2009). Active Region Loops: Hinode/Extreme-Ultraviolet Imaging Spectrometer Observations. *The Astrophysical Journal*, 694(2), 1256-1265.
- Ugarte-Urra, I., Warren, H. P., & Brooks, D. H. (2009). Hinode Coronal Loop Observations. The Second Hinode Science Meeting: Beyond Discovery-Toward Understanding ASP Conference Series, 415 (241), 1-6.
- Viall, N. M., & Klimchuk, J. A. (2012). Evidence for Widespread Cooling in an Active Region Observed with the SDO Atmospheric Imaging Assembly. *The Astrophysical Journal*, 753(35), 1-18.
- Warren, H. P., Winebarger, A. R., & Mariska, J. T. (2008). Evolving Active Region Loops Observed with the Transition Region and Coronal Explorer. II. Time-dependent Hydrodynamic Simulations. *The Astrophysical Journal*, 593(2), 1174-1186.
- Winebarger, A. R., Warren, H. P., & Falconer, D. A. (2008). Modeling X-Ray Loops and EUV "Moss" in an Active Region Core. *The Astrophysical Journal*, 676(1), 672-679.
- Winebarger, A., Tripathi, D., Mason, H. E., & Del Zanna, G. (2013). Doppler Shifts in Active Region Moss Using SOHO/SUMER. *The Astrophysical Journal*, 767(2), 1-18.