

اتلاف انواع امواج درونی خورشید در لایه‌ها و نقاط میان - شبکه و شبکه کروموسفری

۰۷۶۷-۹۶۰۲-۰۰۰۱-۰۰۰۰	دانشیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور تهران	احسان توابی	۱
۹۳۳۳-۲۰۱۲-۰۰۰۲-۰۰۰۰	دانشجوی دکترای دانشگاه پیام نور دانشگاه تهران	ریحانه صادقی	۲

Ehsan Tavabi Physics Department, Payame Noor University (PNU), 19395-3697 Tehran, Iran

Rayhane Sadeghi Physics Department, Payame Noor University (PNU), 19395-3697 Tehran, Iran

چکیده

در این مقاله به بررسی مکانیزم اتلاف انواع موج در لایه‌های مختلف خورشید و نقاط روشن مناطق میان - شبکه و شبکه کروموسفر، پرداخته شده است. برای این منظور، ابتدا نقاط روشنی در کروموسفر انتخاب می‌شود. این انتخاب با کمک تصاویر SJI از آیریس انجام می‌شود. سپس، برش‌های زمانی سرعت دوپلری طیف مینیزیم (Mg II k) در سرعت مشخصی ترسیم می‌گردد و به عنوان ورودی به تابع تبدیل موجک داده می‌شود تا تحلیل زمان-فرکانسی انجام شده و دوره‌ی نوسان سرعت دوپلری بدست آید. از نتایج دوره‌ی نوسان سرعت، برای شناسایی نقاط روشن مناطق میان - شبکه و شبکه کروموسفر، استفاده می‌گردد به این صورت که، دوره‌های نوسانی حدود ۱۸۰ ثانیه مربوط به نقاط میان - شبکه کروموسفر خورشیدی است و دوره‌های نوسانی حدود ۳۰۰ ثانیه‌ای مربوط به نقاط شبکه کروموسفری خورشیدی است. سپس نمودار شیفت دوپلری برای خط طیفی سیلیسیوم (Si IV 1394) بر حسب زمان رسم می‌گردد. این نمودار، در بازه‌هایی از زمان، نموداری میراست. این میرایی، بیانگر اتلاف موج در لایه‌های خورشیدی می‌باشد. بر طبق نتایج بدست آمده، نقاط روشن شبکه کروموسفری دارای زمان میرایی در حدود ۱۵ دقیقه و نقاط روشن میان - شبکه کروموسفری خورشیدی دارای زمان میرایی در حدود ۲۵ دقیقه هستند. واژه‌های کلیدی: اتمسفر خورشید، نوسانات میرا، کروموسفر، نقاط روشن، سرعت دوپلری.

۱ مقدمه

نوسانات خورشیدی معمولاً به صورت نوساناتی منظم و تکرارشونده به نمایش گذاشته می‌شوند اما برخی از نوسانات خورشیدی به صورت نوساناتی نامنظم هستند. این عدم نظم گاهی به صورت میرایی دیده می‌شود (اشواندن و همکاران، ۱۹۹۹). تا به امروز به کمک ابزارهای رصدی مختلف (که هر کدام در طول موجهای متفاوتی کار میکنند) به بررسی نوسانات خطوط طیفی و خواص آنها (همچون دوره‌های نوسانی) پرداخته شده است. (دی پوینتو و همکاران، ۲۰۰۳؛ اردلی و همکاران، ۲۰۰۷؛ عجب شیرزاده و همکاران، ۲۰۰۸؛ توابی و کوچمی، ۲۰۱۴؛ توابی و همکاران، ۲۰۱۵؛ صادقی و توابی، ۲۰۲۲). نقاط روشن خورشید، ویژگی‌های کوچک و روشن هستند که بر روی سطح خورشید مشاهده می‌شوند. این ویژگی‌ها عموماً دارای اندازه‌ای کمتر از ۱۰۰۰ کیلومتر هستند و با توجه به کنتراست بالایی که با محیط اطرافشان دارند، مشخص می‌شوند. طبیعت فیزیکی نقاط روشن خورشید هنوز به طور کامل مشخص نیست، اما با انتشار جریان مغناطیسی از داخل خورشید، به ظاهر، ارتباط دارند. میدان مغناطیسی خورشید، می‌تواند باعث گرم شدن و روشن شدن محلی شود و باعث تشکیل نقاط روشن شود.

میدان‌های مغناطیسی مرتبط با نقاط روشن خورشید عموماً بسیار قوی هستند؛ میدان‌هایی با قدرت حدود چند هزار گائوس. این میدان‌ها باعث می‌شوند که حرکات جریانی که مسئول انتقال حرارت از داخل خورشید به سطح آن هستند، مهار شوند و باعث گرم شدن و تشکیل نقاط روشن شوند.

نقاط روشن خورشید ویژگی‌های مهمی هستند که مورد بررسی قرار می‌گیرند، زیرا با تشکیل لکه‌های خورشیدی و سایر ساختارهای مغناطیسی بر روی خورشید، ارتباط دارند. با بررسی خصوصیات فیزیکی نقاط روشن خورشید، دانشمندان می‌توانند درک بهتری از فرآیندهایی خورشیدی و اثرات آن بر زمین و منظومه شمسی پیدا کنند (ماجراسکا، ۲۰۱۹). نقاط روشن کروموسفری توسط تلسکوپ تصویری و طیفی فضایی آیریس (IRIS)، در طیف $Mg II k \& h$ مشاهده می‌شوند. این مولفه‌های روشن در طیف $O IV$ دیده نمی‌شوند و در طیف $Si IV$ با خطوط جذبی فتوسفری دیده می‌شوند.

نقاط روشن مشاهده شده در کروموسفر خورشیدی، در دو منطقه‌ی شبکه (network) و منطقه‌ی میان - شبکه کروموسفر خورشیدی (internetwork) قرار دارند. در منطقه‌ی شبکه، نقاط روشن به عنوان ناحیه‌هایی از شبکه‌ی مغناطیسی خورشید شناخته می‌شوند که شامل ابعاد بزرگتری نسبت به نقاط روشن در منطقه‌ی میان‌شبکه هستند. در عوض، در منطقه‌ی میان‌شبکه، نقاط روشن به عنوان ناحیه‌هایی از شبکه‌ی مغناطیسی خورشید به شمار می‌آیند که با ساختار مغناطیسی خاصی همراه است. این مناطق شامل میدان‌های مغناطیسی کوچک و جریانات همراه با حرکت‌های کانوکشنی هستند که مداوماً در حال تکامل و تعامل با یکدیگر هستند. نقاط روشن در هر دو منطقه به عنوان پدیده‌های پویایی شناخته می‌شوند که به دلیل بازترکیبی مغناطیسی و فرآیندهای دیگر در این مناطق ایجاد می‌شوند. دوره‌ی نوسانات شدت و سرعت دوپلری این نقاط از مشخصه‌های بارز این نقاط روشن هستند. نوسانات شدت و سرعت در بخش شبکه، اغلب در حدود ۳۰۰ ثانیه و در بخش میان - شبکه، در حدود ۱۸۰ ثانیه است (لایتنس و همکاران، ۱۹۹۸؛ دی‌واین و همکاران، ۲۰۰۸؛ استانگالینی و همکاران، ۲۰۱۲؛ صادقی و توایی، ۲۰۲۲).

در این تحقیق به بررسی اتلاف انواع امواج درونی خورشید در لایه‌ها و نقاط میان - شبکه و شبکه کروموسفری پرداخته می‌شود و بدین منظور، سری زمانی سرعت دوپلری ساخته می‌شود و توسط تابع تبدیل موجک، دوره‌ی نوسان سرعت دوپلری محاسبه می‌گردد و بدین وسیله نوع نقاط روشن مشخص می‌گردند. سپس، با استفاده از طیف $Si IV 1394$ جابجایی دوپلری بر حسب زمان رسم می‌گردد تا بتوان به عملکرد اتلاف موج در نقاط روشن خورشید پی برد.

استفاده از روش آنالیز موجکی و استفاده از داده‌های تلسکوپ تصویری و طیفی فضایی آیریس (IRIS) - که همان طور که از نامش پیداست، برای بررسی ساختارهای گرم در ناحیه کروموسفر استفاده می‌شود - در طول موج نسبتاً گرم ($Ln T > 4$) سیلیسیم چهار ($Si IV$) در طول موج ۱۳۹۰،۹۲ تا ۱۴۰۶،۲۶ Å و کربن دو ($C II$) در طول موج ۱۳۳۲،۷۳ تا ۱۳۳۷،۵۳ Å و کانال طول موج فرابنفش دور ۱۳۹۳ آنگستروم (که نشان دهنده ساختارهای گرم است) استفاده کردند و با توجه به اینکه اکثر نوسانات گزارش شده تا کنون از طریق رصدهای زمینی بوده است ولی برای اولین بار این نوسانات در این طول موج گرم مشاهده شد، به این دلیل در اینجا به آن بیشتر خواهیم پرداخت (توایی و همکاران، ۲۰۱۵؛ توایی، ۲۰۱۸).

چرا فقط درصدی از نقاط روشن رفتار پرریودیکی از خود نشان می‌دهند در حالیکه نوسانات p مدهای فتوسفر در همه جای سطح خورشید وجود دارد؟ (صادقی و توایی، ۲۰۲۲) تعداد این نقاط غیرنوسانی $flash-like phenomena$ ، در کرونا بیش از سایر مناطق است و در واقع نوسان در کرونا پدیده‌ای نادر می‌باشد؛ برعکس در کروموسفر، آمار نقاط نوسانی بسیار بیشتر از غیرنوسانی است. باید در نظر داشت که تیوب‌های کج مغناطیسی چگال، که بنظر می‌رسد نقاط روشن در پایه‌ی آن‌ها قرار دارند، نقش بسزایی در انتقال نوسانات مگنتوآکوستیکی به لایه‌های کروموسفر دارد.

حالت‌های P که با نام‌های مد فشار یا حالت‌های صوتی نیز شناخته می‌شوند، نوعی نوسان است که در خورشید رخ می‌دهد. این نوسانات توسط امواج صوتی هدایت می‌شوند که در داخل خورشید منتشر می‌شوند و باعث می‌شوند که خورشید مانند یک زنگ به ارتعاش درآید. امواج صوتی

توسط حرکات آشفته پلاسما در ناحیه همرفت درست زیر سطح خورشید ایجاد می شود. سپس امواج از درون خورشید عبور می کنند و قبل از اینکه در نهایت به سطح برسند، نوسانات قابل مشاهده ایجاد کنند.

حالت های P با فرکانس آنها که معمولاً بین ۱ تا ۵ میلی هرتز است و توزیع فضایی آنها که توسط هندسه خورشید تعیین می شود مشخص می شوند. این حالت ها به دلیل فشار یا "p" pressure نامگذاری شده اند، که به این واقعیت اشاره دارد که آنها عمدتاً توسط تغییرات فشار در پلاسما خورشید هدایت می شوند. هنگامی که نوسانات با استفاده از تکنیک هایی مانند هلیوسیسمولوژی مشاهده می شوند، به صورت مجموعه ای از قله ها در طیف قدرت نوسانات خورشید ظاهر می شوند. این پیک ها به طور منظم از نظر فرکانس با یکدیگر فاصله دارند و الگویی به نام شانه فرکانس را تشکیل می دهند. فاصله دقیق قله ها به خواص فیزیکی درون خورشید مانند دما و چگالی آن بستگی دارد

با تجزیه و تحلیل ویژگی های حالت های P، دانشمندان می توانند در مورد ساختار و دینامیک میان - شبکه خورشید بیاموزند. دانشمندان با اندازه گیری فاصله فرکانس و سایر ویژگی های حالت های P، می توانند ساختار میان - شبکه و چرخش خورشید و همچنین خواص میدان مغناطیسی آن را استنباط کنند. مدهای P علاوه بر اهمیت علمی، کاربردهای عملی برای هلیوسیسمولوژی نیز دارند. با تجزیه و تحلیل خواص این نوسانات، دانشمندان می توانند رفتار خورشید و تاثیر آن بر زمین و منظومه شمسی را مطالعه کنند. به عنوان مثال، از تغییرات در نوسانات خورشیدی می توان برای نظارت بر فعالیت خورشید و پیش بینی طوفان های خورشیدی که می توانند بر سیستم های ارتباطی و ناوبری روی زمین تأثیر بگذارند، استفاده کرد (اشواندن، ۲۰۰۶).

دامنه نوسانات P مدها همدوس در حدود ۸۰۰۰ کیلومتر است و این دامنه در حدود دامنه یا اندازه ساختارها فیبریل کروموسفری است. مدهای همدوس، مدهایی هستند که فرکانس و دامنه نوسانی یکسانی در سراسر دیسک خورشید از خود نشان می دهند.

مدها در کروموسفر و حتی کرونا هم دیده می شوند، اما به دلیل قطع فرکانسی در ناحیه دمای مینیمم، باعث حذف P مدها می شود. حضور مدهای P در کروموسفر چندان رایج نیست ولی کماکان مدهای P می توانند در طول تیوب هاب مغناطیسی که کجی داشته و چگالی بیشتری دارند، به سوی کروموسفر منتشر می شوند. این مدها در فتوسفر خورشید غالب هستند.

از همه مهمتر فرکانس قطع برای انتشار P مدها در فتوسفر خورشید است، به طوریکه فرکانس قطع در لایه بالای فتوسفر کمتر از ۱۸۰ ثانیه است، یعنی فقط امواج با پریود کمتر از ۱۸۰ ثانیه می توانند در داخل اتمسفر خورشید به لایه های بالاتر نفوذ کنند، اما پریود P مدها که دارای دوره نوسان ۳۰۰ ثانیه ای است و این موجب ایجاد مشکل در انتشار آنها خواهد شد، دپونتیو - در سال ۲۰۰۴ در مقاله مشهوری که در مجله نیچر چاپ شد - ادعا کرد که گرما و چگالی زیاد مواد در داخل اسپیکولها و از همه آنها مهمتر کج بودن آنها باعث بالا رفتن فرکانس قطع انتشار امواج در داخل آنها می شود، بطوریکه حتی امواجی با دوره نوسان بالاتر و حدود ۵ دقیقه ای نیز می توانند در داخل تیوبها منتشر شود.

ما منشا اصلی تمام نوسانات کروموسفر و زیر لایه دمایی منیزیم را مربوط به داخل خورشید می دانیم و عموماً از ناحیه پوسته همرفتی خورشید حاصل می شوند (خصوصاً نوسانات ۵ دقیقه ای). حتی نوسانات الرمان بمب هم در ارتباط مدهای پی هستند. نقاط روشن مغناطیسی، محیط خیلی

بهتری برای انتقال پی مدها به سطح محسوب می شوند. زیرا امواج مکانیکی، از جمله مگنتوآکوستیکی، در این لوله های شار چگال و مغناطیسی بهتر منتشر می شوند. امواج مگنتوآکوستیکی نوعی از امواج مکانیکی هستند. امواج مکانیکی با انتقال انرژی از طریق انتقال موجودیت هایی مانند

فشار و چگالی در وسیله انتقال انرژی مانند جامدات، مایعات و گازها ایجاد می شوند. اما امواج مگنتوآکوستیکی از طریق تأثیر میدان مغناطیسی روی خواص فیزیکی مایعات و گازها ایجاد می شوند. به عبارت دیگر، امواج مگنتوآکوستیکی نوعی از امواج مکانیکی هستند که تأثیر میدان مغناطیسی در ایجاد آنها بسیار مهم است. در نتیجه اولین کاندیدا برای هر نوع موج با نوسانات ۵ دقیقه ای تا زمان پیدا کردن منشا دیگر را می توان

منتسب به لایه‌های زیرین همرفتی فتوسفر دانست، که به آن‌ها پی‌مد می‌گویند. اگر منشأ دیگری پیدا شود، می‌توان ارتباطشان را بررسی نمود (اورتیز و همکاران، ۲۰۲۰).

عموماً این مدهای ۵ دقیقه‌ای بالای لایه دمایی کمینه (این لایه در حدود ارتفاع ۶۰۰ کیلومتری بالای فتوسفر دارای دمای حدود ۳۶۰۰ درجه کلون می‌باشد و عموماً به دلیل دمای پایین و چگالی بالا، اجازه نفوذ و انتشار اغلب امواج آکوستیکی به سمت کروموسفر و کرونا را نمیدهد و باعث تولید امواج ایستاده میگردد. البته همچنان امواج مگنتوآکوستیکی می‌توانند در داخل تیوپهای شار پلاسما فریز شده به سمت بالا انتشار یابد) کمتر دیده میشوند، ولی کماکان در داخل تیوپها شار فریز شده مغناطیسی به وفور ملاحظه میگردند، ولی در حالت سطح عمومی کره خورشید بالای کروموسفر دیگر موج غالبی با منطقه نوسانات همدوس در حدود قطر ۸۰۰۰ کیلومتر دیده نمیشود، ولی کماکان در نواحی روزت^۱ مغناطیسی، رد پای آنها مشهود است، و بهترین کانال برای فهم طبیعت نوسانی آنها همین مناطق حساس و اکتیو محسوب میشوند، بدیهی است رد پای این نقاط روشن مغناطیسی تا نواحی تاجی هم امتداد داشته، و همین فرکانس غالب در نقاط روشن کرونا مغناطیسی هم مشاهده شده اند (اورتیز، ۲۰۲۰؛ میلر، ۲۰۲۱). اما سوال قبلی در مورد انتشار P مدها هنوز پاسخ داده نمی‌شود (حتی در صورت درست بودن استنتاج دیونتیو که در بالا ذکر گردید). علاوه بر این سوالات مطروحه، می‌دانیم که اسپیکولها در نواحی حفره‌های کرونایی که در آنجا میدان مغناطیسی باز می‌باشد، تقریباً به طور عمود بر سطح است. ولی تعداد بسیار زیادی از رصدها حتی در مورد این اسپیکولهای نوسان را گزارش کرده اند.

با عنایت به تمام این مسائل و بعد از مشاهده اولین تصاویر تلسکوپ آیریس - که توانست دید خورشید شناسان را نسبت به اتمسفر آن به مقدار زیادی تصحیح کند بطوریکه می‌توان به آن طیف نگار و هابل خورشید داده اند - این تلسکوپ با قدرت تفکیک بسیار بالا (۳۳). ثانیه کمانی، به زبان ساده این قدرت تفکیک برای رویت یک تار مو در فاصله ۱۰۰ متری کافی است) و همچنین قدر تفکیک زمانی عالی (۳ تا ۳۰ ثانیه) هیچ گونه نوسان طولی و دوپلری در نقاط روشن را نشان نمی‌دهد. اتلاف میرایی در خورشید به دلیل جذب نور در لایه‌ی فتوسفر، و نیز انتشار نور در داخل خورشید به وجود می‌آید. مکانیزم دقیق این اتلاف میرایی به دلیل پیچیدگی فیزیکی خود خورشید، هنوز به صورت کامل مشخص نیست. با این حال، برخی از روش‌هایی که می‌تواند به میزان اتلاف میرایی در خورشید ارتباط داشته باشد، شامل جذب تشدید، اختلاط فاز، انتقال حرارت و جریان‌های مغناطیسی می‌باشد:

- جذب تشدید (Radiative Absorption):

جذب تشدید در لایه‌ی فتوسفر خورشید به دلیل تعامل فوتون‌های نور با اتم‌ها و یون‌های موجود در این لایه، به وجود می‌آید. این تعامل باعث جذب نور و انتقال انرژی به اتم‌ها می‌شود. پس از جذب نور، انرژی به صورت حرارت به داخل لایه انتقال می‌یابد و این باعث اتلاف میرایی در خورشید می‌شود.

- اختلاط فاز (Phase Mixing):

^۱ روزت (Rosette): این نواحی در خورشید به مناطقی اشاره دارند که در آن‌ها، شدت میدان مغناطیسی بسیار بالاست و ممکن است به صورت پله‌ای تغییر کند. این نواحی معمولاً در مناطقی از خورشید قرار دارند که فعالیت‌های شدید مغناطیسی دارند. نواحی روزت ممکن است در نواحی مرزی بین چند سوپرگراونول یا سوپرتایل قرار داشته باشند. معمولاً نواحی روزت نقطه اشتراک چند سوپرگراونول پنتا یا هگزاگونال می‌باشد که دارای تجمع بیشتر از نقاط روشن مغناطیسی خواهد بود (توای ۲۰۱۴).

اختلاط فاز به فرایندی گفته می‌شود که در آن خطوط جریان مغناطیسی در لایه‌ی فتوسفر خورشید، به دلیل تفاوت در چگالی و فشار به صورت غیریکنواخت می‌شوند. این تغییرات در خطوط جریان مغناطیسی می‌تواند به جریان‌های غیرایستا و اختلاط فاز منجر شود که در نتیجه، به وجود اتلاف میرایی در خورشید می‌شود.

- انتقال حرارت (Heat Conduction):

انتقال حرارت از لایه‌های داخلی خورشید به لایه‌ی فتوسفر و کرونا نیز می‌تواند به اتلاف میرایی در خورشید منجر شود. این انتقال حرارت به دلیل وجود گرما در لایه‌های داخلی خورشید ایجاد می‌شود. در این فرایند، گرما از لایه‌های داخلی به لایه‌ی فتوسفر و کرونا منتقل می‌شود و این باعث کاهش شدت نور و انرژی خورشید می‌شود.

- جریان‌های مغناطیسی (Magnetic Fields and Flows):

جریان‌های مغناطیسی نیز می‌توانند به اتلاف میرایی در خورشید منجر شوند. در خورشید، جریان‌های مغناطیسی به دلیل تفاوت در چگالی و فشار در لایه‌های مختلف، به صورت غیریکنواخت شکل می‌گیرند. این تفاوت‌ها در جریان‌های مغناطیسی می‌تواند به جریان‌های غیرایستا و اختلاط فاز منجر شود که در نتیجه، به وجود اتلاف میرایی در خورشید می‌شود.

علاوه بر روش‌هایی که ذکر شد، روش‌های دیگری نیز می‌توانند به اتلاف میرایی در خورشید منجر شوند. به عنوان مثال، فرایند جذب و تابش نوترینوها نیز می‌تواند به اتلاف میرایی در خورشید منجر شود. نوترینوها پس از تولید در هسته‌های خورشید، به دلیل کم بودن جرم و برهم‌کنش ناچیز با ماده، بدون ملاحظه‌ی هیچ مانعی از خورشید خارج می‌شوند. با این حال، نوترینوها در طول راه خود انرژی خود را در محیط‌هایی که از طریق آنها عبور می‌کنند، منتقل می‌کنند. به همین دلیل، نوترینوها می‌توانند به اتلاف انرژی خورشید کمک کنند. همچنین، فرایند جذب و تابش پلاسمای خورشید نیز می‌تواند به اتلاف میرایی در خورشید منجر شود. در این فرایند، پلاسمای خورشید انرژی خود را از طریق جذب نور خورشید و انتشار آن به داخل خورشید، از دست می‌دهد.

در کنار این‌ها، مکانیزم دقیق اتلاف میرایی در خورشید همچنان به عنوان یکی از مسائل بزرگ در فیزیک خورشیدی محسوب می‌شود و تحقیقات بیشتری در این زمینه صورت می‌گیرد. به هر حال، فهم بهتر از روش‌های مختلفی که به اتلاف میرایی در خورشید منجر می‌شوند، می‌تواند به ما کمک کند تا فرآیندهای پیچیده در خورشید و اثرات آنها را بهتر درک کنیم (اشواندن، ۲۰۰۶). در این تحقیق به بررسی نوسانات میرا در بالای نقاط روشن آیریس پرداخته می‌شود و نوسانات سرعت دوپلری در طیف Si IV مورد بررسی قرار می‌گیرد و تلاش می‌گردد تا تحلیلی جامع و درست از علل این پدیده بیان گردد.

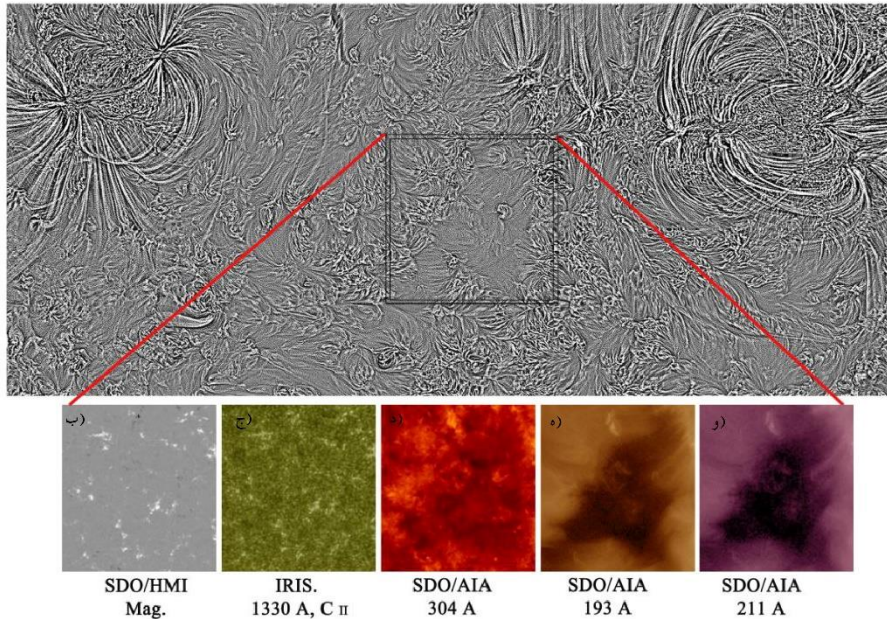
۲ داده‌ها و مشاهدات

مشاهدات مورد استفاده در این تحقیق شامل توالی داده‌های IRIS میدان مغناطیسی منطقه چاه‌های خورشیدی (Coronal Holes) در مرکز دیسک در ۱۴-۱۰-۲۰۱۶ در ساعت ۰۳:۴۵:۲۱ تا ۱۹:۲۳:۲۰ U.T. می‌باشد. قدرت تفکیک فضایی آیریس ۰/۳-۰/۴ ثانیه قوسی و اندازه پیکسل آن ۰/۱۶۶ ثانیه قوسی (۱۲۰ کیلومتر در مرکز دیسک) است که مناسب برای مشاهدات دینامیکی ناحیه کروموسفر می‌باشد (پونتیو و همکاران، ۲۰۱۴). مشخصات این داده‌ها در جدول ۱ آمده است.

داده‌های SDO/AIA متناظر با داده‌های آیریس بکار گرفته شده‌اند. این تصاویر در سه طول موج ۱۹۳، ۱۷۱ و ۳۰۴ آنگسترومی و مگنوگرام SDO/HMI مربوط به فوتوسفر برای انتخاب نقاط روشن بکار گرفته شده‌اند. استفاده‌ی همزمان از داده‌های AIA و SJI برای انتخاب نقاط

روشن در مناطق شبکه (network) و ، این اطمینان را برای ما حاصل می کند که نقاط روشن متعلق به گروه درستی باشند. برای این منظور، داده های SJI و HMI با یکدیگر هم راستا و تطبیق داده شدند.

(الف)



شکل ۱ الف: داده های SDO/AIA مربوط به خط طیفی Fe IX در تاریخ ۱۴-۱۰-۲۰۱۶ می باشد ب: داده های و مگنتوگرام SDO/HMI (ج) SJI از آریس مربوط به خط طیفی C II در طول موج ۱۳۳۰ آنگسترومی است (د) SDO/AIA در طول موج ۳۰۴ آنگستروم (ه) SDO/AIA در طول موج ۱۹۳ آنگستروم و (و) SDO/AIA در طول موج ۲۱۱ آنگستروم ، که همگی متناظر با داده های طیفی IRIS می باشند.

جدول ۱ مشخصات داده های آریس مورد استفاده در این پژوهش در جدول آمده است.

میدان دید SJI تصاویر	آهنگ زمانی رستر	آهنگ پله های رستر	پله های رستر	میدان دید رستر	بیشینه میدان دید	X, Y	زمان
۱۱۹ × ۱۱۹	۱۰ ثانیه، ۱ رستر	۹٫۶ ثانیه	۵۱۲ × ۰	۰ × ۱۱۹	۱۱۹ × ۱۱۹	۲۴٫۶۸	۱۴-۱۰-۲۰۱۶ ۲۰:۲۳:۱۹ تا ۲۱:۴۵:۰۳

۳ تحلیل داده ها

برای شناسایی امواج، بررسی زمانی مولفه های فیزیکی حائز اهمیت است. در این مطالعه، به بررسی همزمان مشاهدات تصویربرداری و طیف سنجی پرداخته شده است. در این مطالعات، مشاهدات تصویری 171 \AA AIA و 1403 \AA SJI از آریس استفاده شده است. همچنین، از داده های طیفی 2796 \AA Mg II k و 1394 \AA Si IV برای بررسی های طیف سنجی بهره گرفته شده است.

در ابتدا با کمک داده‌های SJI 1403 Si IV نقاطی با احتمال قرار داشتن در نواحی شبکه و میان-شبکه خورشیدی در ناحیه‌ی چاه‌های خورشیدی انتخاب شدند. سپس این داده‌ها بر طبق روشی که صادقی و توایی در سال ۲۰۲۲ بر اساس دوره‌های نوسان ارائه داده اند از نظر قرار داشتن در نواحی شبکه و میان-شبکه خورشیدی مورد بررسی قرار گرفتند (صادقی و توایی، ۲۰۲۲؛ توایی و صادقی، ۲۰۲۲). خطوط طیفی Mg II دارای دو پیک هستند که با نام Mg II h و Mg II k شناخته می‌شوند. مرکز سکون هر یک از این دو خط به شرح زیر است (شکل ۲):

- Mg II h: مرکز سکون خط Mg II h در حدود ۲۸۰۳,۵۳ نانومتر قرار دارد. این خط در ناحیه فرابنفش طیفی قرار دارد.

- Mg II k: مرکز سکون خط Mg II k در حدود ۲۷۹۶,۳۵ نانومتر قرار دارد. همچنین این خط در ناحیه فرابنفش طیفی قرار دارد.

در هر دو خط Mg II h و Mg II k، مرکز سکون خط با استفاده از محاسبه مرکز جرم خطوط طیفی به دست می‌آید. محاسبه مرکز جرم خطوط طیفی، میانگین وزنی موقعیت فرکانسی خط می‌باشد و برای محاسبه آن، نیاز به محاسبه مجموع حاصلضرب فرکانس هر نقطه در شدت آن نقطه داریم. سپس این مقدار بر تعداد کل نقاط طیفی در ناحیه خط مورد نظر تقسیم می‌شود.

خطوط طیفی Si iv شامل دو پیک اصلی هستند که به عنوان خطوط Si IV 1393.76 و ۱۴۰۲,۷۷ آنگستروم شناخته می‌شوند. این خطوط طیفی در ناحیه فرابنفش طیفی قرار دارند و با بار چهارتایی یون سیلیسیوم مرتبط هستند. طول موج سکون مربوط به این خط را با استفاده از محاسبه مرکز جرم خطوط طیفی سیلیسیوم چهار ۱۳۹۴ را به دست آورد که حدود ۱۳۹۴,۷۶ می‌باشد. برای هر یک از نقاط انتخابی، نمودار توالی زمانی سرعت دوپلری در سرعت ± 20 کیلومتر بر ثانیه از طیف Mg II k ترسیم می‌گردد و سپس، تابع تبدیل موجک برای توالی زمانی سرعت دوپلری در پیک‌ها k (در شکل ۲ مشخص شده است) برای این سرعت رسم می‌گردد. قله‌ها و دره‌های طیف با تبدیل فوریه، بدقت مشخص می‌گردد. تابع تبدیل موجک، دوره نوسانات سرعت دوپلری را برای ما مشخص می‌کند و بر طبق این دوره‌ی تناوب می‌توان به منشاء نقاط پی برد که از دسته‌ی نقاط میان-شبکه خورشیدی و یا از دسته نقاط شبکه هستند. مزیت انتخاب تبدیل موجک نسبت به روش‌های خانواده‌ی فوریه داشتن همزمان قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی و قابلیت بهینه‌سازی قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی است. در این مطالعه از موجک مورلت (Morlet wavelet)، استفاده شده است. این موجک، دارای مزیت عدم تغییر قدرت تفکیک زمانی موج است. **موجک مورلت (Morlet wavelet)**، یکی از موجک‌های پر کاربرد در سیگنال‌های پراکنده می‌باشد. این موجک، ترکیبی از یک موج پایه اسکال شده و یک تابع گوسی است و به عنوان یک موجک پیوسته (continuous wavelet) شناخته می‌شود. موجک مورلت در تحلیل مقیاسی سیگنال‌های غیرخطی، مانند سیگنال‌های مغناطیسی، استفاده می‌شود. موجک مورلت به دلیل داشتن محدوده فرکانسی مشخصی و قابل تنظیم، به عنوان یک ابزار قدرتمند در تحلیل ویژگی‌های مختلف سیگنال‌ها، مانند فرکانس، زمان، تغییرات فرکانسی و... شناخته می‌شود. علاوه بر این، موجک مورلت به دلیل توانایی تشخیص کوتاه‌مدت‌ترین تغییرات فرکانسی سیگنال‌ها، به خوبی در تحلیل پدیده‌های پویایی مانند تغییرات فعالیت خورشیدی، استفاده می‌شود. معمولاً در تحلیل سیگنال‌های مغناطیسی خورشید، از موجک مورلت به عنوان یکی از ابزارهای اصلی برای تحلیل مقیاسی استفاده می‌شود. به عنوان مثال، این موجک در تحلیل داده‌های ماهواره‌ای خورشیدی و تشخیص فعالیت‌های مغناطیسی در خورشید، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تابع مورلت ۵ یک نوع تابع موجی است که به طور معمول در پردازش سیگنال و تحلیل زمان-فرکانس استفاده می‌شود. این تابع یک تابع مختلط است که برای تحلیل سیگنال‌های غیر پایدار با فرکانس‌های بالا و پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد. تابع مورلت ۵ شباهت زیادی به تابع مورلت دارد، اما تعداد نوسانات داخل تابع بیشتر است. این باعث می‌شود که شکل تابع مورلت ۵ ارتعاشی‌تر باشد و برای تحلیل سیگنال‌های با فرکانس‌های بالاتر مناسب‌تر باشد. فرمول تابع مورلت ۵ به شکل زیر است:

$$\psi(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} e^{-i\omega_0 t} (1 - t^2) e^{-\frac{t^2}{2}}$$

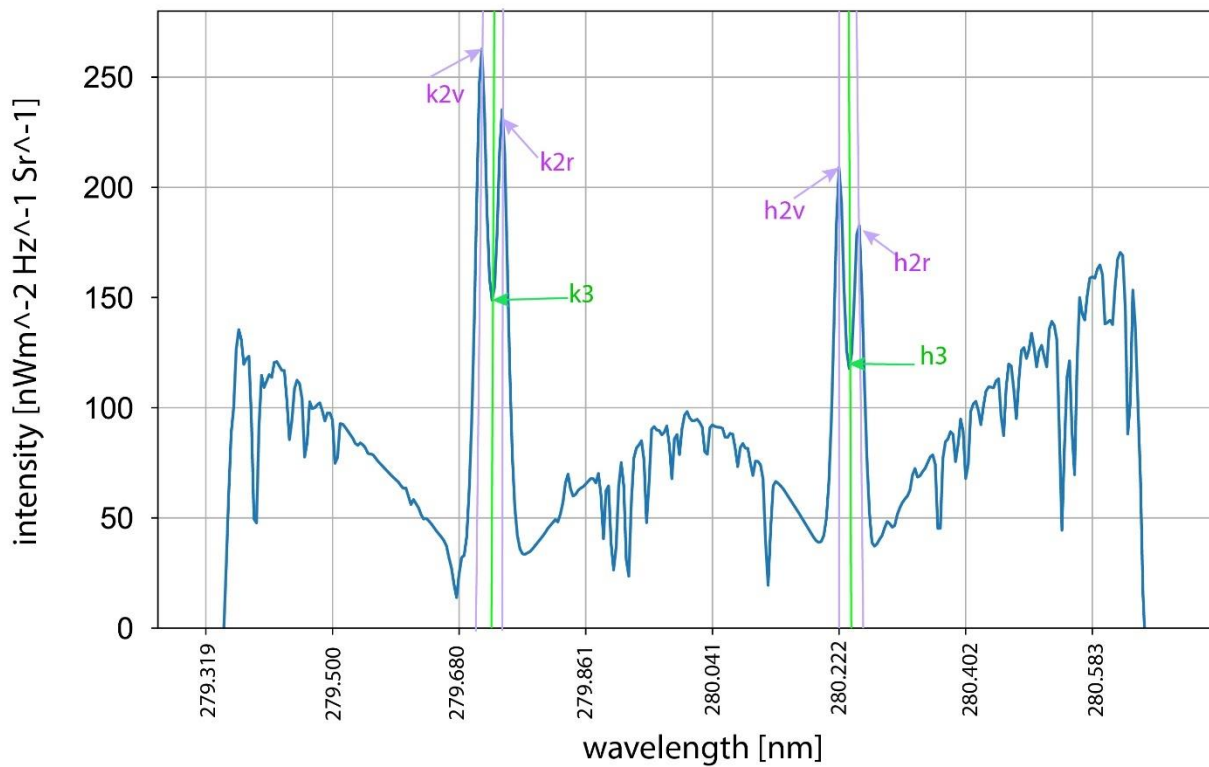
در این فرمول، t متغیر زمان است، ω_0 فرکانس مرکزی تابع موج است و i واحد مختلط است.

مانند تابع مورلت، تابع مورلت ۵ مزایایی مانند تمرکز خوب زمان-فرکانس دارد که به معنای توانایی شناسایی دقیق زمان و فرکانس سیگنال است. همچنین، شکل تقارنی دارد که مناسب برای تحلیل مؤلفه‌های فرکانس مثبت و منفی سیگنال است. تابع مورلت ۵ پهنای باند بیشتری نسبت به تابع مورلت دارد، که به معنای مناسب بودن برای تحلیل سیگنال‌های با فرکانس‌های بالاتر است. با این حال، برای تحلیل سیگنال‌های با فرکانس‌های پایین‌تر ممکن است بهترین کارایی را نداشته باشد. همچنین، تعداد بیشتر نوسانات درون تابع مورلت ۵ باعث می‌شود که حساسیت بیشتری به نویز و سایر خرابی‌های موجود در سیگنال داشته باشد.

سپس با استفاده از خط طیفی Si IV، نمودار میرایی برحسب طول موج و زمان رسم گردید. به این صورت که شیف‌ت آبی در خط طیفی سیلیسیوم بر حسب تغییرات طول موج نسبت به خط مرکزی طیف بررسی شده و بر حسب زمان رسم گردیده است. برای انجام تحلیل‌های لازم، دو نقطه‌ی روشن P1 و P2 انتخاب گردیدند. P1 و P2 از روی تطبیق تصاویر SDO/HMI و IRIS/SJIs حدس زده می‌شود که به ترتیب مربوط به نواحی مرکزی و شبکه باشند. با تعیین دوره‌ی نوسان با استفاده از تحلیل موجک، این حدس تایید می‌شود.

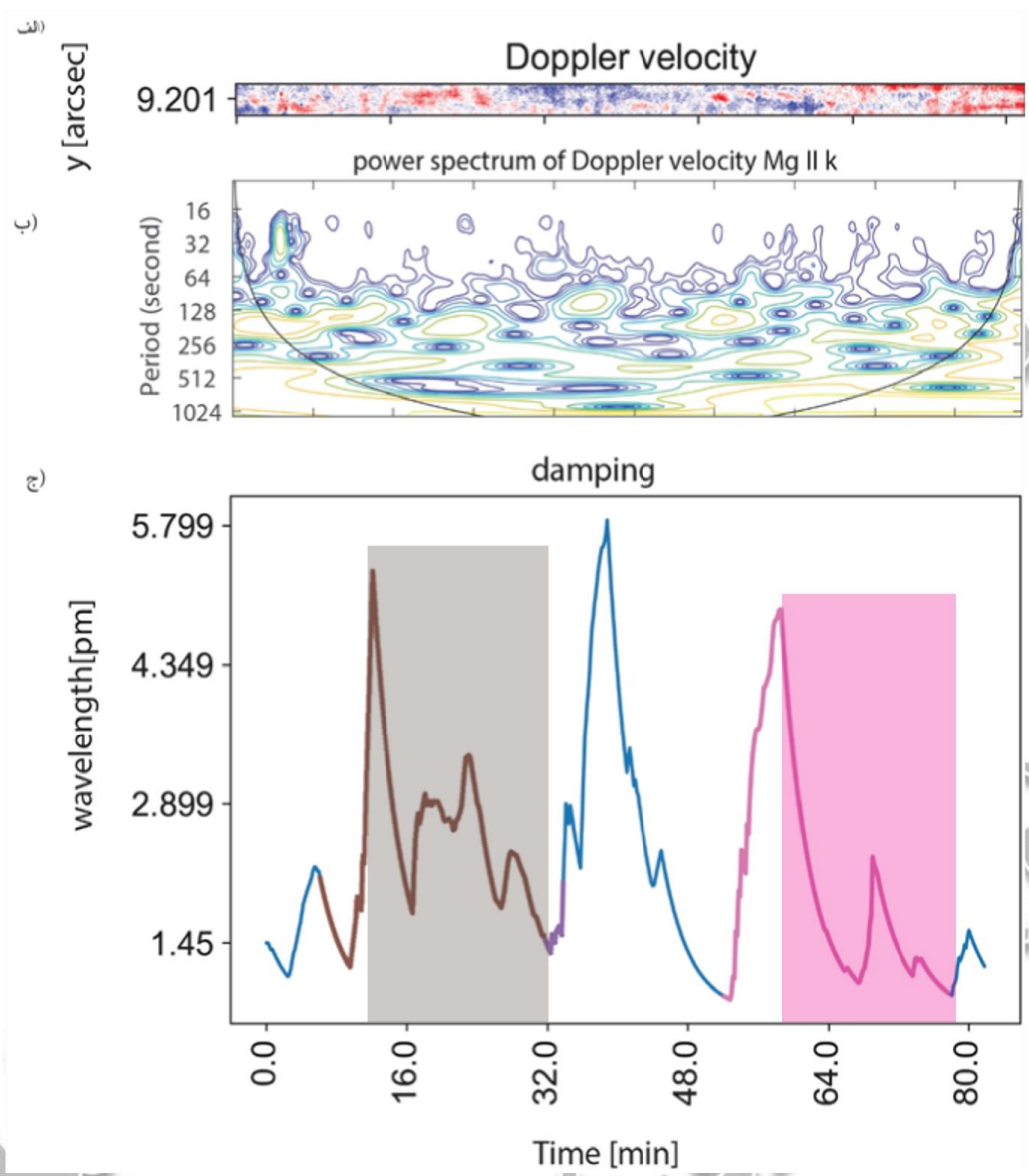
ویدئو استادی نشده

در انجمن

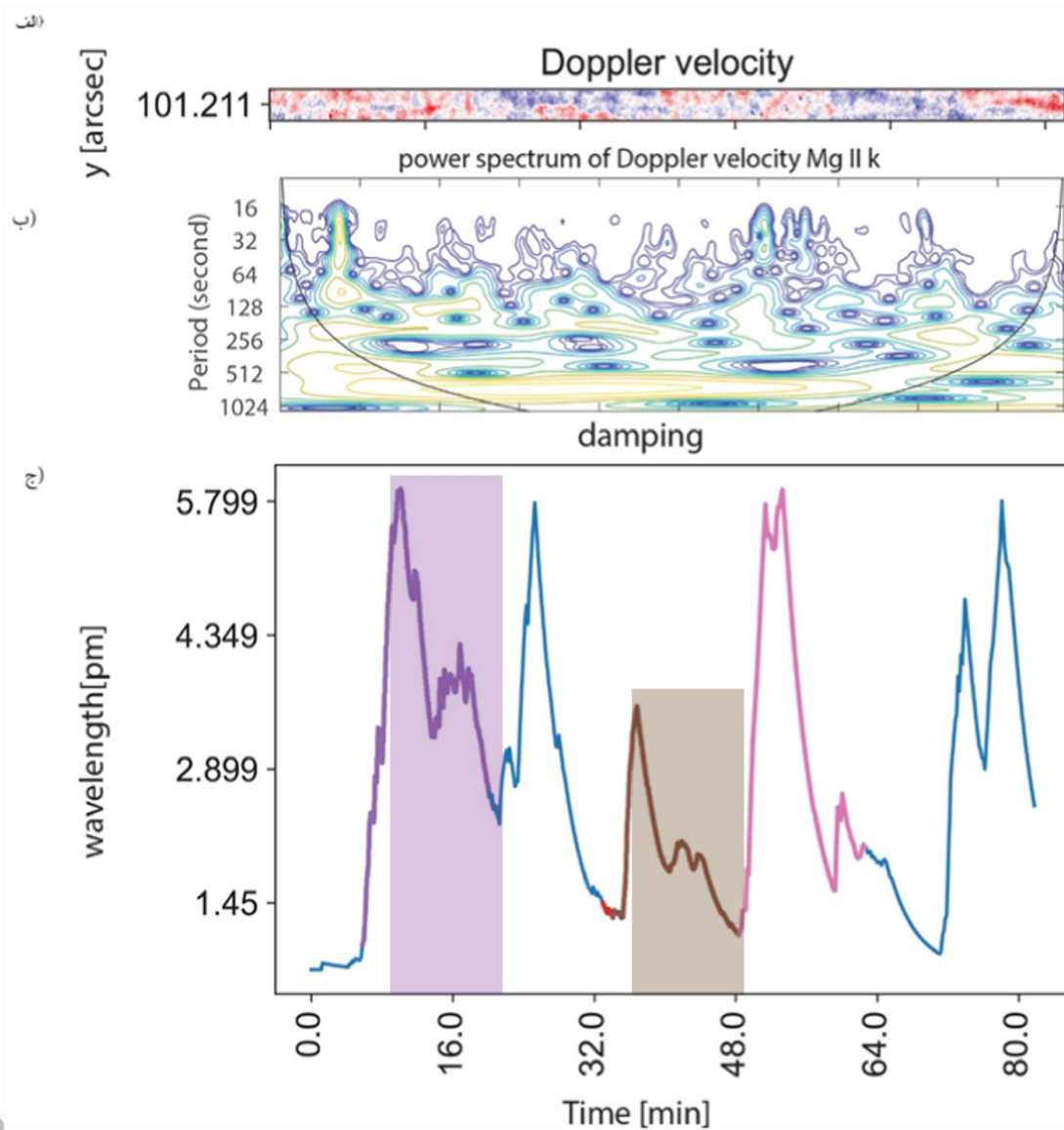


شکل ۲ نمودار توزیع فرکانس $Mg II$ با بررسی دو قله شاخص را نشان می دهد که هر کدام شامل دو قله و یک دره است. وقتی از سمت چپ شروع می کنیم اولین پیک $k2v$ و سپس دره $k3$ و سپس قله $k2r$ را داریم (دو دره $k1v$ و $k1r$ نیز به ترتیب قبل و بعد از قله های $k2r$ و $k2v$ هستند که در اینجا ذکر نگردیده اند). توضیح مشابه برای پیک های $Mg II h$ معتبر است.

انستیتو
پژوهشی
کشاورزی
شیراز



شکل 3 الف: نقطه‌ی P1 - برش زمانی سرعت دوپلر به دست آمده از سرعت‌های تغییر خط خط دید (LOS) در محدوده ± 20 کیلومتر بر ثانیه به دست آمده از طیف‌های Mg II k مربوط به مناطق بریده شده می‌باشد. شکل ب: نمودار تبدیل موجک توان سرعت برای طیف‌های Mg II k. شکل ج: نمودار میرایی شیفت آبی در خط طیفی Si IV بر حسب زمان می‌باشد.



شکل ۴ توضیحات شکل 3 برای نقطه ی P2.

۴ نتایج

در شکل‌های ۳ و ۴ برش زمانی سرعت دوپلر به دست آمده از سرعت‌های تغییر خط خط دید (LOS) در محدوده ± 20 کیلومتر بر ثانیه به دست آمده از طیف‌های $Mg II k$ مربوط به مناطق بریده شده در بالای نقطه‌ی روشن P1 و P2 آمده است و نیز نمودار تبدیل موجک توان سرعت برای طیف‌های $Mg II k$ برای این نقاط رسم شده است که برای بدست آوردن دوره‌ی نوسان از آن‌ها استفاده گردیده است. در بخش ج شکل‌های ۳ و ۴، نمودار میرایی شیف آبی در خط طیفی $Si IV$ بر حسب زمان رسم شده است که با کمک آن بتوان زمان میرایی را محاسبه کرد. بر طبق نتایج تحلیل موجک سرعت دوپلری، نقطه‌ی P1 دارای دوره‌ی نوسان ۱۷۰ ثانیه‌ای و متعلق به مناطق میان - شبکه خورشیدی می‌باشد. این دسته از نقاط در نوسانات میرای $Si IV$ در حدود ۲۵ دقیقه دیده می‌شود (شکل ۳).

بر طبق نتایج تحلیل موجک سرعت دوپلری، نقطه‌ی P2 دارای دوره‌ی نوسان ۳۰۰ ثانیه‌ای و متعلق به مناطق شبکه می‌باشد. این دسته از نقاط در نوسانات میرای Si IV در حدود ۱۵ دقیقه دیده می‌شود (شکل ۴). زمان میرایی به معنای زمان لازم برای کاهش دامنه‌ی سرعت شیفت داپلری به $1/e$ مقدار ماکزیمم است. همان طور که از تحلیل‌های میرایی دریافته می‌شود، نوسانات منطقه‌ی شبکه با شدت بیشتری نسبت به مناطق میان - شبکه میرا می‌شوند و به همین دلیل طول عمر میرایی آن‌ها کمتر از سایر نقاط است. شیفت سیلیسیوم نقاط روشن واقع در مناطق میان - شبکه خورشیدی با شیب کمتری میرا شده و به همین دلیل دارای طول عمر میرایی بیشتری است.

صادقی و توابی در سال ۲۰۲۲ در بخشی از مقاله‌ای با عنوان رهیافتی جدید بر شار انرژی جنبشی در فرکانس‌های مختلف در بالای نقاط روشن آیریس، به بررسی انرژی جنبشی در بالای نقاط روشن منطقه‌ی شبکه و میان - شبکه خورشیدی پرداخته‌اند. آن‌ها بیان داشته‌اند که در نقاط روشن منطقه‌ی شبکه، درصد بالایی از انرژی نقاط روشن منطقه‌ی شبکه به لایه‌های بالاتر یعنی ناحیه انتقالی و کرونا، منتقل می‌شود. این نتایج با نتایج حاصل از پژوهش حاضر همخوانی دارد. طول زمان میرایی در نوسانات این مناطق کوتاه می‌باشد و انرژی با اتلاف کم، به لایه‌های بالاتر منتقل می‌شود. همچنین در مقاله‌ی یاد شده، بیان شده است که، در نقاط روشن منطقه‌ی میان - شبکه خورشیدی، اغلب انرژی نقاط روشن منطقه‌ی میان - شبکه، به لایه‌های بالاتر نمی‌روند. این بدان معناست که اتلاف انرژی نقاط روشن منطقه‌ی میان - شبکه خورشیدی، در لایه‌ی کروموسفری بسیار بالاست. مکانیزم اتلاف از نوع میرایی (dissipation) می‌باشد، در مطالعه‌ی حال حاضر بر روی مکانیزم اتلاف انواع موج در نقاط روشن مناطق میان - شبکه و شبکه کروموسفر، نیز اثبات شده است که بازه‌ی زمانی میرایی موج، بیشتر از طول زمان میرایی در نوسانات نقاط روشن مناطق شبکه است که نمایانگر اتلاف بیشتر انرژی در این لایه می‌باشد.

۵ جمع بندی و نتیجه گیری

زمان میرایی به زمانی گفته می‌شود که یک نوسان یا ارتعاش به طور کامل میرا می‌شود یا کاهش می‌یابد. در زمینه فیزیک خورشیدی، زمان میرایی یک پارامتر مهم است که برای شرح رفتار امواج و ارتعاشات در جو خورشید استفاده می‌شود. زمانی که امواج یا ارتعاشات در جو خورشید ایجاد می‌شوند، می‌توانند به وسیله فرآیندهای فیزیکی مختلفی مانند لغزش، هدایت حرارتی و از دست دادن تابش، کاهش یابند. طیف نوسانات خورشیدی دارای قله‌هایی با فاصله زمانی مشخصی است که به عنوان "توالی رزونانس" شناخته می‌شود. این توالی توسط نوسانات برخوردی در داخل خورشید ایجاد می‌شود. بررسی زمان میرایی در نقاط روشن خورشید می‌تواند به دانشمندان کمک کند تا فرآیندهای میان - شبکه خورشید، مانند جریان‌ات پلاسمایی و انتقال حرارت، را بهتر درک کنند. یکی از مسائلی که برای بررسی زمان میرایی مطرح شده است، اختلاف زمانی معنادار در بالای نقاط روشن مناطق شبکه و میان - شبکه خورشیدی است. به دلیل این اختلاف، به نظر می‌رسد که زمان میرایی نوسانات با منشأ و مبدأ آنها در ارتباط باشد. به عبارت دیگر، زمان میرایی به خصوصیات فیزیکی و شکل نوسانات بستگی دارد. در صورتی که زمان میرایی کوتاه باشد، نوسانات در مدت کوتاهی میرا می‌شوند و رزونانس آنها به سرعت از بین می‌رود. این شرایط، به نظر می‌رسد که انرژی نوسانات به صورت سریع‌تر از لایه‌های دیگر خورشید منتشر می‌شود، که در نتیجه انتقال انرژی به پدیده‌هایی با سرعت بالا و انفجاری، مانند شعله‌های خورشیدی، مرتبط است.

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل موجک سرعت دوپلری و میرایی در نقاط روشن مناطق میان - شبکه و شبکه خورشیدی، مشخص شد که این نقاط دارای دوره‌های نوسانی متفاوت هستند و تفاوت‌هایی در طول عمر میرایی آن‌ها وجود دارد. همچنین، بر اساس تحلیل انرژی جنبشی در بالای نقاط روشن، مشخص شد که درصد بالایی از انرژی نقاط روشن منطقه‌ی شبکه به لایه‌های بالاتر منتقل می‌شود در حالی که در نقاط روشن منطقه‌ی میان - شبکه، اتلاف انرژی در لایه‌ی کروموسفری بسیار بالاست. همچنین، در مطالعه‌ی حال حاضر بر روی مکانیزم اتلاف انواع موج در نقاط روشن مناطق میان - شبکه و شبکه خورشیدی، اثبات شده است که میرایی موج در این نقاط بیشتر از طول زمان میرایی در نوسانات نقاط روشن مناطق شبکه

است که نشان دهنده‌ی اتلاف بیشتر انرژی در این لایه است. به طور کلی، این تحقیق به بررسی و توضیح مکانیزم‌هایی که در اثر نوسانات در نقاط روشن منطقه‌ی میان-شبکه و شبکه خورشیدی رخ می‌دهد، پرداخته است.

به طور کلی، بررسی زمان میرایی نوسانات خورشیدی می‌تواند به دانشمندان کمک کند تا فرآیندهای میان-شبکه خورشید را بهتر درک کنند و به علت اهمیت بالای خورشید در تاثیر بر اقلیم و هواشناسی زمین، در آینده می‌تواند بهبود پیش‌بینی‌های هواشناسی و مدیریت فعالیت‌های فضایی نیز داشته باشد.

مرجع‌ها

- Ajabshirizadeh, A., Tavabi, E., & Koutchmy, S. (2008). Wavelet analysis of solar macro-spicule recurrences. *New Astronomy*, 13(2), 93-97.
- Aschwanden, M. (2006). *Physics of the solar corona: an introduction with problems and solutions*. Springer Science & Business Media.
- Aschwanden, M. J., Fletcher, L., Schrijver, C. J., & Alexander, D. (1999). Coronal loop oscillations observed with the transition region and coronal explorer. *The Astrophysical Journal*, 520(2), 880.
- De Pontieu, B., Erdélyi, R., & De Wijn, A. (2003). Intensity oscillations in the upper transition region above active region plage. *The Astrophysical Journal*, 595(1), L63.
- De Pontieu, B., Lemen, J., Kushner, G., Akin, D., Allard, B., Berger, T., Boerner, P., Cheung, M., Chou, C., & Drake, J. (2014). The interface region imaging spectrograph (IRIS). *Solar Physics*, 289(7), 2733-2779.
- De Wijn, A., Stenflo, J. O., Solanki, S. K., & Tsuneta, S. (2008). Small-scale solar magnetic fields. In *The Origin and Dynamics of Solar Magnetism* (pp. 275-315). Springer.
- Lites, B., Rutten, R., & Kalkofen, W. (1993). Dynamics of the solar chromosphere. I-Long-period network oscillations. *The Astrophysical Journal*, 414, 345-356.
- Madjarska, M. S. (2019). Coronal bright points. *Living Reviews in Solar Physics*, 16(1), 2.
- Millar, D. C., Fletcher, L., & Milligan, R. O. (2021). The effect of a solar flare on chromospheric oscillations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 503(2), 2444-2456.
- Ortiz, A., Hansteen, V. H., Nóbrega-Siverio, D., & van der Voort, L. R. (2020). Ellerman bombs and UV bursts: reconnection at different atmospheric layers. *Astronomy & Astrophysics*, 633, A58.
- 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.
- Stangalini, M., Giannattasio, F., Del Moro, D., & Berrilli, F. (2012). Three-minute wave enhancement in the solar photosphere. *Astronomy & Astrophysics*, 539, L4.
- Tavabi, E. (2014). Power spectrum analysis of limb and disk spicule using Hinode Ca H-line broadband filter. *Astrophysics and Space Science*, 352(1), 43-50.
- Tavabi, E., & Koutchmy, S. (2014). Oscillations in solar jets observed with the SOT of Hinode: viscous effects during reconnection. *Astrophysics and Space Science*, 352(1), 7-15.
- Tavabi, E., Koutchmy, S., Ajabshirizadeh, A., Maralani, A. A., & Zeighami, S. (2015). Alfvénic waves in polar spicules. *Astronomy & Astrophysics*, 573, A4.
- توایی، & صادقی. (۲۰۲۲). رهیافت طیفی از منشا و انتشار نوسانات مگنتوآکوستیکی در نواحی داخلی و مرزی گرانول‌های خورشیدی. فیزیک زمین و فضا و
- داداشی، ن.، & محسنی، ش. (۱۴۰۲). بررسی مکانیزم گرمایشی لوله‌های داغ تاج به کمک مطالعه طیفی و تصویری نواحی خزه خورشیدی. فیزیک زمین و فضا

Internal Sun wave dissipation in the sun's layers, network and internetwork bright points of solar chromospheric granules

Summary

The mechanism of wave dissipation in different layers of the sun, as well as the solar granules inter-network bright points and internetwork bright points of chromospheric solar granules, have been explored in this article. This article's data comes from the Interface Region Imaging Spectrograph (*IRIS*). *IRIS* is a small exploration mission by NASA. *IRIS* obtained spectra in near-ultraviolet (NUV), far-ultraviolet 1 (FUV1), and far-ultraviolet 2 (FUV2), from 1332 to 2834 Å. Slit jaw images (SJIs) of *IRIS* by using various filters can provide images centered on the Mg II h wing, Mg II k, Si IV 1403 Å, and C II line. To begin, bright points in the chromosphere are selected for this goal. These points were first chosen using *IRIS* Slit Jaw Images (SJI) Si IV 1403 Å. The time slices of the Doppler velocity of the Mg II k spectrum are then drawn at a specified velocity (± 20 km/s) and fed into the wavelet transform function to perform the time-frequency analysis and get the oscillation period of the Doppler velocity. The wavelet transform used for this purpose is Morlet 5 wavelet.

The velocity oscillation period data are utilized to determine the bright points of the network and internetwork solar granules at the chromosphere. The Doppler shift diagram for the Si IV 1394 spectral line is then displayed in time. This graph is a Doppler shift various time graph. This attenuation is caused by wave loss in the solar layers. According to the obtained data, the network and internetwork bright points of the chromospheric solar granules have an attenuation time 3 to 5 min. oscillations of the solar granules network bright points are damped more intensely than the solar granules inter-network bright points, and hence their damping lifetime is shorter. Si IV 1394 Å Doppler velocity shift of bright points placed in the solar granules inter-network is dampened by a lower slope and so has a longer damping life. Sadeghi and Tavabi researched the kinetic energy above the bright points of the network and internetwork regions of the solar granules in a part of a paper titled "A new approach to kinetic energy flux at the different frequencies above the *IRIS* bright points" in 2022. They claim that a substantial percentage of the energy of the network bright points of solar granules is transferred to higher layers, namely the transition region corona, in the network bright points of solar granules. These findings are congruent with the findings of the current study. The oscillations in these locations are dampened for a brief period of time, and the energy is transmitted to higher layers with little loss. Furthermore, it is stated in the cited paper that the majority of the energy at the internetwork bright points of the solar granules does not transfer to higher layers of Sun. This suggests that the energy loss from bright points in the solar granules' internetwork region is rather high in the chromospheric layer. The time period of the wave damping is longer than the length of the damping time in the oscillations, according to the current study on the mechanism of wave dissipation in different layers of the sun and the network and internetwork bright points of the chromosphere. It has also been demonstrated that the time period of the wave damping is greater than the length of the damping time in the oscillations of the bright points of the granules' network region, which the source of the most energy loss in this layer.

Keywords: solar atmosphere, damped oscillations, chromosphere, bright points, Doppler velocity