

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

Tavabi, E.¹  | Sadeghi, R.¹ 

1. Department of Physics, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran.

Corresponding Author E-mail: e_tavabi@pnu.ac.ir

(Received: 29 Jan 2023, Revised: 8 May 2023, Accepted: 26 Sep 2023, Published online: 5 May 2024)

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 come from the Interface Region Imaging Spectrograph (*IRIS*). *IRIS* is a small exploration mission by NASA. That obtains 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*, using various filters that can provide images centered on the Mg II h wing, Mg II k, Si IV 1403 Å, and C ii lines. 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 were fed into the wavelet transform function to perform the time-frequency analysis to obtain the oscillation periods 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 with attenuation that is caused by wave loss in the solar layers. According to the obtained data, the network and internetwork bright points, the chromospheric solar granules have an attenuation time 3 to 5 min. The 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 damped by a lower slope and so has a longer damping life time.

Sadeghi and Tavabi researched about 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 damped 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 is the source of the most energy loss in this layer.

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

Cite this article: Tavabi, E., & Sadeghi, R. (2024). Internal Sun wave dissipation in the sun's layers, network and internetwork bright points of solar chromospheric granules. *Journal of the Earth and Space Physics*, 50(1), 185-197. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2023.354202.1007496>

E-mail: (1) rayhane.sadeghi@gmail.com



Publisher: University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2023.354202.1007496>

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

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

احسان توابی^۱ | ریحانه صادقی^۱

۱. گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: e_tavabi@pnu.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۹، بازنگری: ۱۴۰۲/۲/۱۸، پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۷/۴، انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۲/۱۶)

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 آپریس انجام می‌شود. سپس، برش‌های زمانی سرعت دوپلری طیف مینیزیم (Mg II k) در سرعت مشخصی ترسیم می‌شود و به عنوان ورودی به تابع تبدیل موجک داده می‌شود تا تحلیل زمان-فرکانسی انجام شده و دوره‌ی نوسان سرعت دوپلری به دست آید. از نتایج دوره نوسان سرعت، برای شناسایی نقاط روشن مناطق میان-شبکه و شبکه کروموسفر، استفاده می‌شود 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 شیفیت دوپلری برای خط طیفی سیلیسیوم (Si IV 1394) بر حسب زمان رسم می‌شود. این نمودار، در بازه‌هایی از زمان، نموداری میراست. این میرایی، بیانگر اتلاف موج در لایه‌های خورشیدی می‌باشد. بر طبق نتایج به دست آمده، نقاط روشن شبکه کروموسفری دارای زمان میرایی در حدود ۱۵ دقیقه و نقاط روشن میان-شبکه کروموسفر خورشیدی دارای زمان میرایی در حدود ۲۵ دقیقه هستند.

واژه‌های کلیدی: اتمسفر خورشید، نوسانات میرا، کروموسفر، نقاط روشن، سرعت دوپلری.

۱. مقدمه

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 گاوس. این میدان‌ها باعث می‌شوند که حرکات جریانی که مسئول انتقال گرما 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

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 منظم گاه‌ها 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 پوینتیو و همکاران، ۲۰۰۳؛ اردلی و همکاران، ۲۰۰۷؛ عجب‌شیرزاده و همکاران، ۲۰۰۸؛ توابی و کوچمی، ۲۰۱۴؛ توابی، ۲۰۱۴؛ توابی و همکاران، ۲۰۱۵؛ صادقی و توابی، ۲۰۲۲a,b). 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

استفاده از طیف Si IV 1394 جابه‌جایی دوپلری بر حسب زمان رسم میشود 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 آپریس (IRIS) - که همان‌طور 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 A و کربن دو (C II) در طول موج ۱۳۳۲/۷۳ A تا ۱۳۳۷/۵۳ A و کانال طول‌موج فرابنفش دور ۱۳۹۳ آنگستروم (که نشان‌دهنده ساختارهای گرم است) استفاده کردند و با توجه به این که اکثر نوسانات گزارش شده تاکنون از طریق رصدهای زمینی بوده است؛ ولی برای اولین بار این نوسانات در این طول‌موج 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 پریودیکی از خود نشان می‌دهند در حالی که نوسانات p مدهای فنوسفر در همه جای سطح خورشید وجود دارد؟ (صادقی و توایی، ۲۰۲۲b و توایی و صادقی، ۱۴۰۱) 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 به نظر می‌رسد نقاط روشن در پایه آنها قرار دارند، نقش به‌سزایی 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 آشفتة پلاسما در ناحیه همرفت درست زیر سطح خورشید ایجاد می‌شود. سپس امواج از درون خورشید عبور می‌کنند و قبل از این که در نهایت به سطح

دارند. با بررسی خصوصیات فیزیکی نقاط روشن خورشید، دانشمندان می‌توانند درک بهتری از فرایندهایی خورشیدی و اثرات آن بر زمین و منظومه شمسی پیدا کنند (ماجارسکا، ۲۰۱۹). نقاط روشن کروموسفری توسط تلسکوپ تصویری و طیفی فضایی آپریس (IRIS)، در طیف Mg II k & h مشاهده می‌شوند. این مؤلفه‌های 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 منطقه شبکه (network) و منطقه میان-شبکه کروموسفر خورشیدی (internetwork) قرار دارند. در منطقه شبکه، نقاط روشن به‌عنوان ناحیه‌هایی از شبکه مغناطیسی خورشید شناخته می‌شوند که شامل ابعاد بزرگ‌تری نسبت به نقاط روشن در منطقه میان‌شبکه هستند. در عوض، در منطقه میان‌شبکه، نقاط روشن به‌عنوان ناحیه‌هایی از شبکه مغناطیسی خورشید به‌شمار می‌آیند که با ساختار مغناطیسی خاصی همراه است نیستند. 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 به‌عنوان پدیده‌های پویایی شناخته می‌شوند که به‌دلیل بازترکیبی مغناطیسی و فرایندهای دیگر در این مناطق ایجاد می‌شوند. دوره 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، ۱۹۹۳؛ دی‌واین و همکاران، ۲۰۰۸؛ استانگالینی و همکاران، ۲۰۱۲؛ صادقی و توایی، ۲۰۲۲a و توایی و صادقی، ۱۴۰۱).

در این تحقیق به بررسی اتلاف انواع امواج درونی خورشید در لایه‌ها و نقاط میان-شبکه و شبکه کروموسفری پرداخته می‌شود و بدین‌منظور، سری زمانی سرعت دوپلری ساخته می‌شود و توسط تابع تبدیل موجک، دوره نوسان سرعت دوپلری محاسبه میشود و بدین‌وسیله نوع نقاط روشن مشخص می‌شوند. سپس، با

برسند، نوسانات قابل مشاهده ایجاد کنند.

حالت‌های p با فرکانس آنها که معمولاً بین ۱ تا ۵ میلی‌هرتز است و توزیع فضایی آنها که توسط هندسه خورشید تعیین می‌شود مشخص می‌شوند. این حالت‌ها به دلیل فشار یا "p" pressure نام‌گذاری شده‌اند، که به این واقعیت اشاره دارد که آنها عمدتاً توسط تغییرات فشار در پلاسمای خورشید هدایت می‌شوند. هنگامی که نوسانات با استفاده از تکنیک‌هایی مانند هلیوسیسمولوژی مشاهده می‌شوند، به صورت مجموعه‌ای از قله‌ها در طیف قدرت نوسانات خورشید ظاهر می‌شوند. این پیک‌ها به طور منظم از نظر فرکانس با یکدیگر فاصله دارند و الگویی به نام شانه فرکانس را تشکیل می‌دهند. فاصله دقیق قله‌ها به خواص فیزیکی درون خورشید مانند دما و چگالی آن بستگی دارد

با تجزیه و تحلیل ویژگی‌های حالت‌های p ، دانشمندان می‌توانند در مورد ساختار و دینامیک میان-شبکه خورشید بیاموزند. دانشمندان با اندازه‌گیری فاصله فرکانس و سایر ویژگی‌های حالت‌های p ، می‌توانند 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 می‌توانند رفتار خورشید و تأثیر آن بر زمین و منظومه شمسی را مطالعه کنند. به عنوان مثال، از تغییرات در نوسانات خورشیدی می‌توان برای نظارت بر فعالیت خورشید و پیش‌بینی طوفان‌های خورشیدی که می‌توانند بر سیستم‌های 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 می‌دهند.

مدها در کروموسفر و حتی کرونا هم دیده می‌شوند، اما به دلیل قطع فرکانسی در ناحیه دمای مینیمم، باعث حذف

p مدها می‌شود. حضور مدهای p در کروموسفر چندان رایج نیست ولی کماکان مدهای p می‌توانند در طول تیوب‌هاب مغناطیسی که کجی داشته و چگالی بیشتری دارند، به سوی کروموسفر منتشر می‌شوند. این مدها در فتوسفر خورشید غالب هستند.

از همه مهم‌تر فرکانس قطع برای انتشار p مدها در فتوسفر خورشید است، به طوری که فرکانس قطع در لایه بالای فتوسفر کمتر از ۱۸۰ ثانیه است، یعنی فقط امواج با پریود کمتر از ۱۸۰ ثانیه می‌توانند در داخل اتمسفر خورشید به لایه‌های بالاتر نفوذ کنند، اما پریود p مدها که دارای دوره نوسان ۳۰۰ ثانیه‌ای 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 بالارفتن فرکانس قطع انتشار امواج در داخل آنها می‌شود، به طوری که حتی امواجی با دوره نوسان بالاتر و حدود ۵ دقیقه‌ای نیز می‌توانند در داخل تیوب‌ها منتشر شود.

ما منشأ اصلی تمام نوسانات کروموسفر و زیر لایه دمایی منیزیم را مربوط به داخل خورشید می‌دانیم و عموماً از ناحیه پوسته همرفتی خورشید حاصل می‌شوند (خصوصاً نوسانات ۵ دقیقه‌ای). حتی نوسانات الرمان بمب (Ellerman bomb) هم در ارتباط مدهای پی هستند. نقاط روشن مغناطیسی، محیط خیلی بهتری برای انتقال پی مدها به سطح محسوب می‌شوند. زیرا امواج مکانیکی، از جمله مگنتوآکوستیکی، در این لوله‌های شار چگال و مغناطیسی بهتر منتشر می‌شوند. امواج مگنتوآکوستیکی نوعی از امواج مکانیکی هستند. امواج مکانیکی با انتقال انرژی از طریق انتقال موجودیت‌هایی مانند فشار و چگالی در وسیله انتقال انرژی مانند جامدات، مایعات و گازها ایجاد می‌شوند. اما امواج مگنتوآکوستیکی از طریق تأثیر میدان مغناطیسی روی خواص فیزیکی مایعات و گازها ایجاد می‌شوند. به عبارت دیگر، امواج مگنتوآکوستیکی نوعی از امواج مکانیکی هستند که تأثیر میدان مغناطیسی در ایجاد آنها بسیار مهم است. در نتیجه اولین کاندیدا

بسیار زیادی از رصدها حتی در مورد این اسپیکول‌های نوسان را گزارش کرده‌اند.

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؛ به طوری که می‌توان به آن طیف‌نگار و هابل خورشید داده‌اند-این تلسکوپ با قدرت تفکیک بسیار بالا (۰/۳۳) 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) هیچ‌گونه نوسان طولی و دوپلری در نقاط روشن را نشان نمی‌دهد. اتلاف میرایی در خورشید به دلیل جذب نور در لایه 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 تشدیدی، اختلاط فاز، انتقال گرما و جریان‌های مغناطیسی می‌باشد:

جذب تشدیدی (Radiative Absorption): جذب تشدیدی در لایه 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 گرما به داخل لایه انتقال می‌یابد و این باعث اتلاف میرایی در خورشید می‌شود.

اختلاط فاز (Phase Mixing): اختلاط فاز به فرایندی گفته می‌شود که در آن خطوط جریان مغناطیسی در لایه 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 گرما (Heat Conduction): انتقال گرما از لایه‌های داخلی خورشید به لایه فتوسفر و کرونا نیز می‌تواند به اتلاف میرایی در خورشید منجر

برای هر نوع موج با نوسانات ۵ دقیقه‌ای تا زمان پیدا کردن منشأ دیگر را می‌توان منتسب به لایه‌های زیرین همرفتی فتوسفر دانست، که به آنها پی‌مد می‌گویند. اگر منشأ دیگری پیدا شود، می‌توان ارتباطشان را بررسی کرد (اورتیز و همکاران، ۲۰۲۰).

عموماً این مدهای ۵ دقیقه‌ای بالای لایه دمایی کمینه (این لایه در حدود ارتفاع ۶۰۰ کیلومتری بالای فتوسفر دارای دمایی حدود ۳۶۰۰ درجه کلونین می‌باشد و عموماً به دلیل دمایی پایین و چگالی بالا، اجازه نفوذ و انتشار اغلب امواج آکوستیکی به سمت کروموسفر و کرونا را نمی‌دهد و باعث تولید امواج ایستاده می‌شود. البته همچنان امواج مگنتوآکوستیکی می‌توانند در داخل تیوپ‌های شار پلاسما فریز شده به سمت بالا انتشار یابند) کمتر دیده می‌شوند، ولی کماکان در داخل تیوپ‌ها شار فریز شده مغناطیسی به وفور ملاحظه می‌شوند، 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 مغناطیسی (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 سوپرگرنول یا سوپرتایل قرار داشته باشند. معمولاً نواحی روزت نقطه اشتراک چند سوپرگرنول پنتا یا هگزاگونال می‌باشد که دارای تجمع بیشتر از نقاط روشن مغناطیسی خواهد بود (توایی، ۲۰۱۴)، رد پای آنها مشهود است.

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 شده‌اند (ارتیز، 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 شد). علاوه بر این سوالات مطرحه، می‌دانیم که اسپیکول‌ها در نواحی حفره‌های کرونایی که در آنجا میدان مغناطیسی باز می‌باشد، تقریباً به طور عمود بر سطح است. ولی تعداد

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 فرایندهای 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 می‌شود تا تحلیلی جامع و درست از علل این پدیده بیان شود.

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 ۲۱:۴۵:۰۳ تا ۲۰:۲۳:۱۹ U.T. می‌باشد. قدرت تفکیک فضایی آیریس ۰/۴-۰/۳ ثانیه قوسی و اندازه پیکسل آن ۰/۱۶۶ ثانیه قوسی (۱۲۰ کیلومتر در مرکز دیسک) است که مناسب برای مشاهدات دینامیکی ناحیه کروموسفر می‌باشد (پونتو و همکاران، ۲۰۱۴). مشخصات این داده‌ها در جدول ۱ آمده و در شکل ۱ نمونه‌ای از آنها نمایش داده شده است.

داده‌های SDO/AIA متناظر با داده‌های آیریس به کار گرفته شده‌اند. این تصاویر در سه طول‌موج ۱۹۳، ۱۷۱ و ۳۰۴ آنگسترومی و مگنتوگرام SDO/HMI مربوط به فوتوسفر برای انتخاب نقاط روشن به کار گرفته شده‌اند. استفاده همزمان از داده‌های AIA و SJI برای انتخاب نقاط روشن در مناطق شبکه (network) و، این اطمینان را برای ما حاصل می‌کند که نقاط روشن متعلق به گروه درستی باشند. برای این منظور، داده‌های SJI و HMI با یکدیگر هم‌راستا و تطبیق داده شدند.

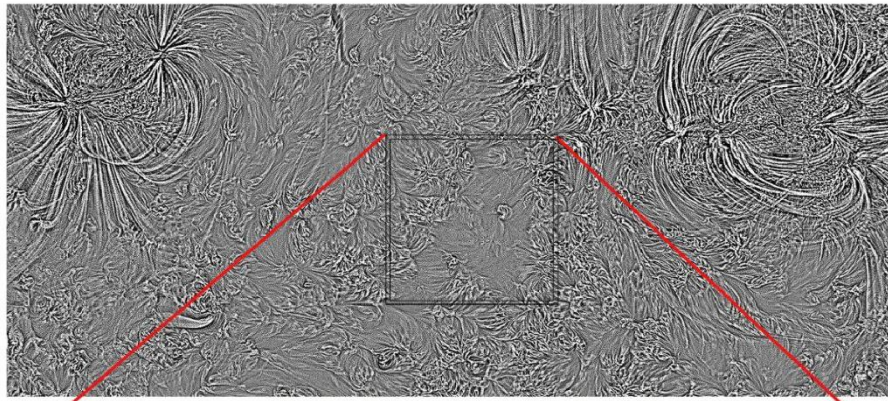
شود. این انتقال گرما به دلیل وجود گرما در لایه‌های داخلی خورشید ایجاد می‌شود. در این فرایند، گرما از لایه‌های داخلی به لایه فتوسفر و کرونا منتقل می‌شود و این باعث کاهش شدت نور و انرژی خورشید می‌شود.

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.

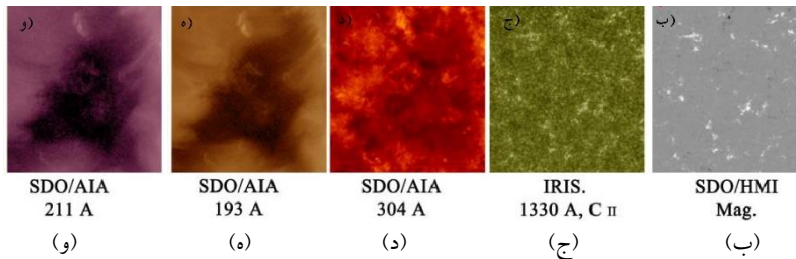
علاوه بر روش‌هایی که ذکر شد، روش‌های دیگری نیز می‌توانند به اتلاف میرایی در خورشید منجر شوند. به عنوان مثال، فرایند جذب و تابش نوترینوها نیز می‌تواند به اتلاف میرایی در خورشید منجر شود. نوترینوها پس از تولید در هسته‌های خورشید، به دلیل کم بودن جرم و برهم‌کنش ناچیز با ماده، بدون ملاحظه هیچ مانعی از خورشید 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



(الف)



شکل ۱. الف) داده‌های SDO/AIA مربوط به خط طیفی Fe IX در تاریخ ۲۰۱۶-۱۰-۱۴ می‌باشد. ب) داده‌های و مکتوگرام SDO/HMI (ج) SJI از آریس مربوط به خط طیفی C II در طول‌موج ۱۳۳۰ آنگسترومی است. د) SDO/AIA در طول‌موج ۳۰۴ آنگستروم. ه) SDO/AIA در طول‌موج ۱۹۳ آنگستروم، و) SDO/AIA در طول‌موج ۲۱۱ آنگستروم، که همگی متناظر با داده‌های طیفی IRIS می‌باشند.

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

میدان دید SJI تصاویر	آهنگ زمانی رستر	آهنگ پله‌های رستر	پله‌های 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	۲۰۱۶-۱۰-۱۴ ۲۰:۲۳:۱۹ تا ۲۱:۴۵:۰۳

۳. تحلیل داده‌ها و نتایج

سپس این داده‌ها بر طبق روشی که صادقی و توایی، ۲۰۲۲a و توایی و صادقی، ۱۴۰۱ بر اساس دوره‌های نوسان ارائه داده‌اند از نظر قراردادن در نواحی شبکه و میان-شبکه خورشیدی مورد بررسی قرار گرفتند (صادقی و توایی، ۲۰۲۲a,b و توایی و صادقی، ۱۴۰۱). 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.

برای شناسایی امواج، بررسی زمانی مؤلفه‌های فیزیکی حائز اهمیت است. در این مطالعه، به بررسی همزمان مشاهدات تصویربرداری و طیف‌سنجی پرداخته شده است. در این مطالعات، مشاهدات تصویری AIA 171 Å و SJI 1403 Å از آریس استفاده شده است. همچنین، از داده‌های طیفی Mg II k 2796 Å و Si IV 1394 Å برای بررسی‌های طیف‌سنجی بهره گرفته شده است. در ابتدا با کمک داده‌های SJI 1403 Si IV نقاطی با احتمال قراردادن در نواحی شبکه و میان-شبکه خورشیدی در ناحیه چاه‌های خورشیدی انتخاب شدند.

است و به‌عنوان یک موجک پیوسته (Continuous Wavelet) شناخته می‌شود. موجک مورلت در تحلیل مقیاسی سیگنال‌های غیرخطی، مانند سیگنال‌های مغناطیسی، استفاده می‌شود. موجک مورلت به‌دلیل داشتن محدوده فرکانسی مشخصی و قابل تنظیم، به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در تحلیل ویژگی‌های مختلف سیگنال‌ها، مانند فرکانس، زمان، تغییرات فرکانسی و... شناخته می‌شود. علاوه بر این، موجک مورلت به‌دلیل توانایی تشخیص کوتاه‌مدت‌ترین تغییرات فرکانسی سیگنال‌ها، به‌خوبی در تحلیل پدیده‌های پویایی مانند تغییرات فعالیت خورشیدی، استفاده می‌شود. معمولاً در تحلیل سیگنال‌های مغناطیسی خورشید، از موجک مورلت به‌عنوان یکی از ابزارهای اصلی برای تحلیل مقیاسی استفاده می‌شود. به‌عنوان 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 به‌طور 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:

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

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

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.

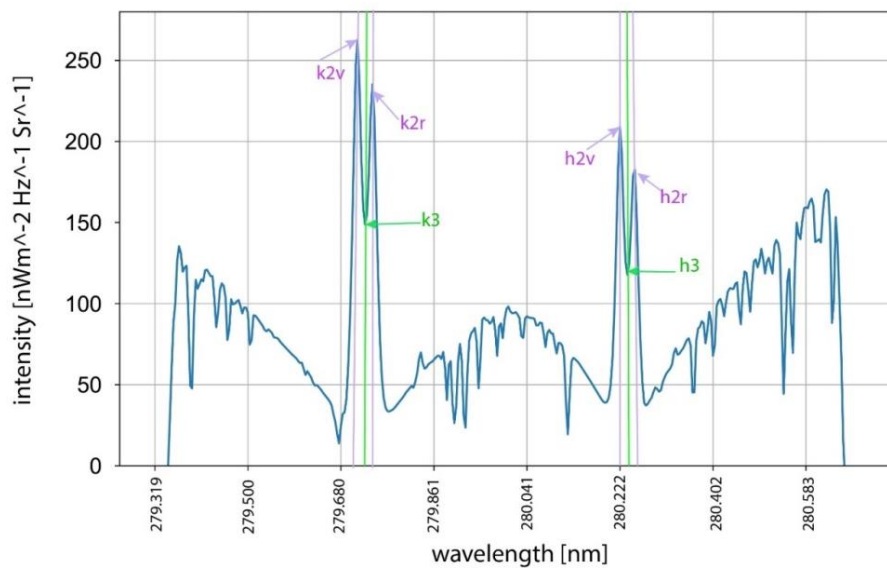
در هر دو خط Mg II h و Mg II k، مرکز سکون خط با استفاده از محاسبه مرکز جرم خطوط طیفی به‌دست می‌آید. محاسبه مرکز جرم خطوط طیفی، میانگین وزنی موقعیت فرکانسی خط می‌باشد و برای محاسبه آن، نیاز به محاسبه مجموع حاصلضرب فرکانس هر نقطه در شدت آن نقطه داریم. سپس این مقدار بر تعداد کل نقاط طیفی در ناحیه خط مورد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

خطوط طیفی Si IV شامل دو پیک اصلی هستند که به‌عنوان خطوط Si IV ۱۳۹۳/۷۶ 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 به‌دست 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 می‌شود و سپس، تابع تبدیل موجک برای توالی زمانی سرعت دوپلری در پیک‌ها k (در شکل مشخص شده است) برای این سرعت رسم می‌شود. قله‌ها و دره‌های طیف با تبدیل فوریه، بدقت مشخص می‌شود. تابع تبدیل موجک، دوره نوسانات سرعت دوپلری را برای ما مشخص می‌کند و بر طبق این دوره تناوب می‌توان به مثلاً نقاط پی برد که از دسته نقاط میان-شبهه خورشیدی و یا از دسته نقاط شبهه هستند. مزیت انتخاب تبدیل موجک نسبت به روش‌های خانواده 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، یکی از موجک‌های پرکاربرد در سیگنال‌های پراکنده می‌باشد. این موجک، ترکیبی از یک موج پایه اسکال شده و یک تابع گوسی

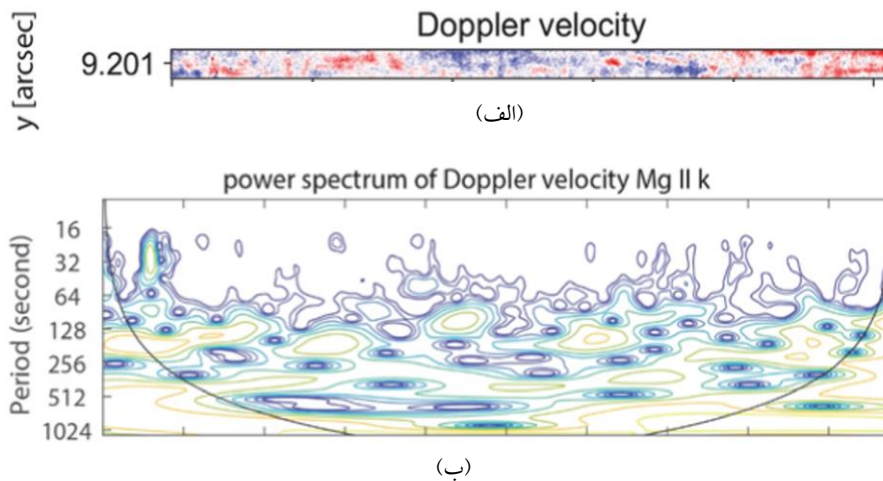
شیفت آبی در خط طیفی سیلیسیوم بر حسب تغییرات طول‌موج نسبت به خط مرکزی طیف بررسی شده و بر حسب زمان رسم شده است. برای انجام تحلیل‌های لازم، دو نقطه روشن P1 و P2 انتخاب شدند. P1 و P2 از روی تطبیق تصاویر *SDO/HMI* و *IRIS/SJI* حدس زده می‌شود که به ترتیب مربوط به نواحی مرکزی و شبکه باشند. با تعیین دوره نوسان با استفاده از تحلیل موجک، این حدس تأیید می‌شود.

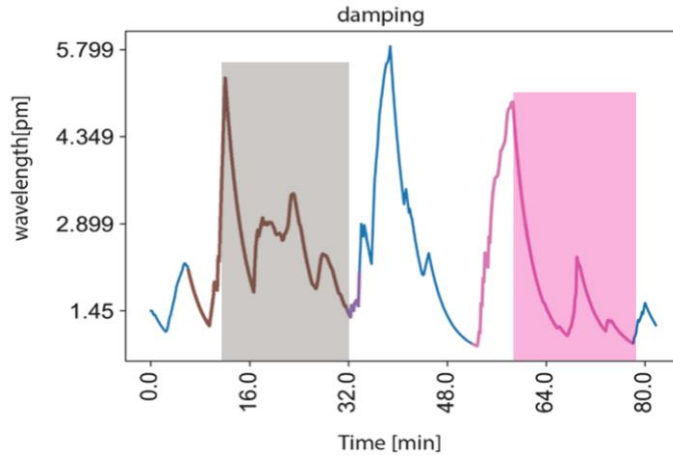
معنای مناسب بودن برای تحلیل سیگنال‌های با فرکانس‌های بالاتر است. با این حال، برای تحلیل سیگنال‌های با فرکانس‌های پایین‌تر ممکن است بهترین کارآیی را نداشته باشد. همچنین، تعداد بیشتر نوسانات درون تابع مورلت ۵ باعث می‌شود که حساسیت بیشتری به نویز و سایر خرابی‌های موجود در سیگنال داشته باشد.

سپس با استفاده از خط طیفی Si IV، نمودار میرایی بر حسب طول‌موج و زمان رسم شد. به این صورت که



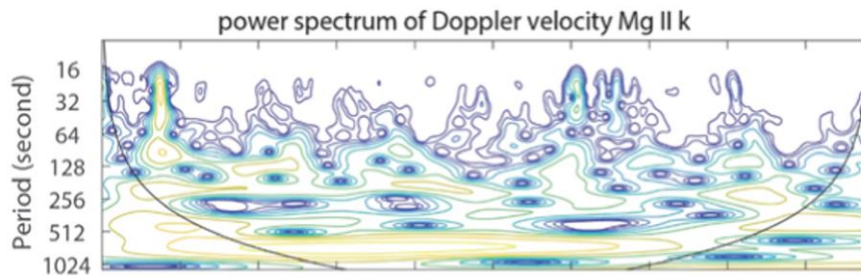
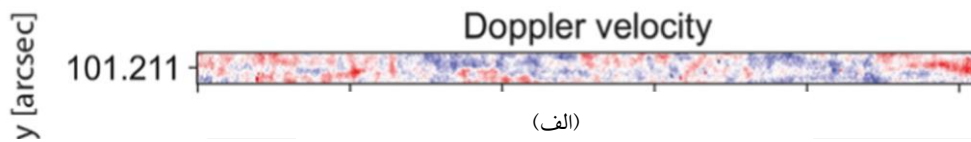
شکل ۲. نمودار توزیع فرکانس Mg II با بررسی دو قله شاخص را نشان می‌دهد که هر کدام شامل دو قله و یک دره است. وقتی از سمت چپ شروع می‌کنیم اولین پیک k2v و سپس دره k3 و سپس قله k2r را داریم (دو دره k1v و k1r نیز به ترتیب قبل و بعد از قله‌های k2v و k2r هستند که در اینجا ذکر نشده‌اند). توضیح مشابه برای پیک‌های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



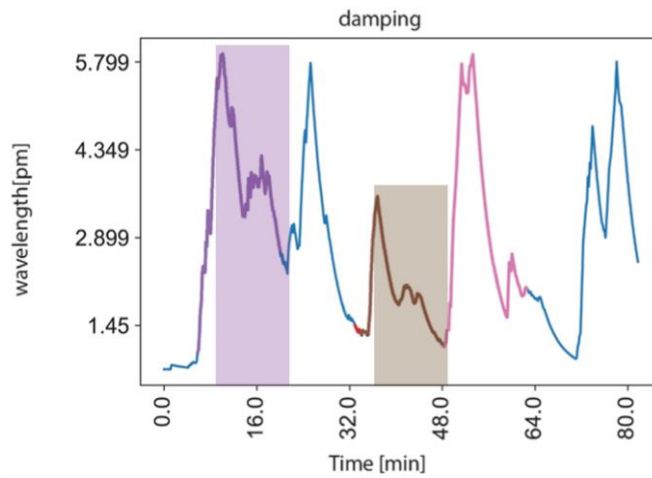


(ج)

شکل ۳. الف) نقطه 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. ب) نمودار تبدیل موجک توان برای طیف‌های Mg II k. ج) نمودار میرایی شیفت آبی در خط طیفی Si IV بر حسب زمان می‌باشد.



(ب)



(ج)

شکل ۴. برش زمانی سرعت دوپلر به دست آمده از سرعت‌های تغییر خط دید در محدوده ± 20 کیلومتر بر ثانیه Mg II مربوط به مناطق بریده شده می‌باشد. ب) نمودار تبدیل موجک توان برای طیف‌های Mg II k به دست آمده از طیف‌های منیزیم ک، ج) نمودار میرایی شیفت آبی در خط طیفی سیلیسیوم چهار بر حسب زمان می‌باشد.

۴. بحث نتایج

در شکل ۳ و ۴ برش زمانی سرعت دوپلر به دست آمده از سرعت‌های تغییر خط دید (LOS) در محدوده ± 20 کیلومتر بر ثانیه به دست آمده از طیف‌های Mg II k مربوط به مناطق بریده شده در بالای نقطه 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 به دست آوردن دوره نوسان از آنها استفاده شده است. در بخش ج شکل ۳ و ۴، نمودار میرایی شیفیت 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، نقطه P1 دارای دوره 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، نقطه P2 دارای دوره 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 دامنه سرعت شیفیت دوپلری به $1/e$ مقدار ماکزیممش است. همان‌طور که از تحلیل‌های میرایی دریافته می‌شود، نوسانات منطقه شبکه با شدت بیشتری نسبت به مناطق میان-شبکه میرا می‌شوند و به همین دلیل طول عمر میرایی آنها کمتر از سایر نقاط است. شیفیت 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 توایی، (۲۰۲۲b) و توایی و صادقی، (۱۴۰۱) 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 منطقه شبکه و میان-شبکه خورشیدی پرداخته‌اند. آنها بیان داشته‌اند که در نقاط روشن منطقه شبکه، درصد بالایی از انرژی نقاط روشن منطقه 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 مقاله یاد شده، بیان شده است که در نقاط روشن منطقه میان-شبکه خورشیدی، اغلب انرژی نقاط روشن منطقه میان-شبکه، به لایه‌های بالاتر نمی‌روند. این بدان معناست که اتلاف انرژی نقاط روشن منطقه میان-شبکه خورشیدی، در لایه کروموسفری بسیار بالاست. مکانیزم اتلاف از نوع میرایی (dissipation) می‌باشد، در مطالعه حال حاضر بر روی مکانیزم اتلاف انواع موج در نقاط روشن مناطق میان-شبکه و شبکه کروموسفر، نیز اثبات شده است که بازه 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. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

زمان میرایی به زمانی گفته می‌شود که یک نوسان یا ارتعاش به‌طور 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 فرایندهای فیزیکی مختلفی مانند لغزش، هدایت گرمایی و از دست دادن تابش، کاهش یابند. طیف نوسانات خورشیدی دارای قله‌هایی با فاصله زمانی مشخصی است که به‌عنوان "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 فرایندهای میان-شبکه خورشید، مانند جریان‌ات پلاسمایی و انتقال گرما، 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

بیشتر از طول زمان میرایی در نوسانات نقاط روشن مناطق شبکه است که نشان‌دهنده اتلاف بیشتر انرژی در این لایه است.

به‌طور کلی، این تحقیق به بررسی و توضیح مکانیزم‌هایی که در اثر نوسانات در نقاط روشن منطقه میان-شبکه و شبکه خورشیدی رخ می‌دهد، پرداخته است. بررسی زمان میرایی نوسانات خورشیدی بررسی شده می‌تواند به دانشمندان کمک کند تا فرایندهای میان-شبکه خورشید را بهتر درک کنند و به علت اهمیت بالای خورشید در تأثیر بر اقلیم و هواشناسی زمین، در آینده می‌تواند بهبود پیش‌بینی‌های هواشناسی و مدیریت فعالیت‌های فضایی نیز داشته باشد.

مراجع

توابی، ا. و صادقی، ر. (۱۴۰۱). رهیافت طیفی از منشأ و انتشار نوسانات مگنتوآکوستیکی در نواحی داخلی و مرزی گرانول‌های خورشیدی. *فیزیک زمین و فضا*، ۴۸(۳)، ۷۴۹-۷۵۶.

داداشی، ن. و محسنی، ش. (۱۴۰۲). بررسی مکانیزم گرمایشی لوله‌های داغ تاج به کمک مطالعه طیفی و تصویری نواحی خزّه خورشیدی. *فیزیک زمین و فضا*، ۴۹(۳)، ۷۴۷-۷۶۴.

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 به‌صورت 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 منطقه شبکه به لایه‌های بالاتر منتقل می‌شود در حالی که در نقاط روشن منطقه میان-شبکه، اتلاف انرژی در لایه کروموسفری بسیار بالاست. همچنین، در مطالعه 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

Ajabshirizadeh, A., Tavabi, E., & Koutchmy, S. (2008). Wavelet analysis of solar macrospicule 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 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.
- Tavabi, E. (2018). Synchronized observations of bright points from the solar photosphere to the corona. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 476(1), 868-874.