

رفتار تناوبی درخشندگی‌های سریع در مقیاس کوچک بر روی دیسک خورشید

سیما ضیغمی^{۱*}، احسان توابی^۲ و الناز امیر خانلو^۳

^۱ استادیار، دانشکده علوم پایه، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

^۲ دانشیار، دانشکده فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

^۳ کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور زنجان، زنجان، ایران

(دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۰۸، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۴)

چکیده

در این تحقیق، رفتار تناوبی درخشندگی‌های سریع در مقیاس کوچک را با استفاده از تصاویر دیسک خورشید که توسط تلسکوپ فضایی آپریس استخراج شده، در طول موجهای ۱۴۰۰ و ۱۳۳۰، ۲۷۹۶ آنگستروم بررسی می‌کنیم. مطالعه این نقاط درخشان ما را به هویت واقعی آنها و تاثیر این نقاط بر روی رویدادهای گذرا در جو خورشید آگاه می‌سازد. نقاط روشن شبکه که توسط صافی‌های خاص قابل مشاهده هستند در طرح‌های تقریباً سلولی که مرزهای شبکه را می‌سازند مرتب شده‌اند. این نقاط درخشان چشمه‌هایی با عمر کوتاه پلاسمایی هستند که از رنگین‌سپهر یا جو پایین‌تر خورشید منشأ می‌گیرند. با تحلیل نوسانات شدت این نقاط به‌روش موجک به دوره تناوب آنها می‌توان پی برد. با توجه به نتایج تحلیل موجک پیک‌های سه و پنج دقیقه‌ای شناسایی شد. پیک‌های سه دقیقه‌ای رنگین‌سپهر و پنج دقیقه‌ای شیدسپهر که در این تحقیق آشکار شد، نشان می‌دهد که نوسانات شدت نقاط روشن از نوع مدهای P هستند که منشأ آنها مدهای فشاری است. در نوسانات سه دقیقه‌ای منشأ رنگین‌سپهر و در پنج دقیقه‌ای منشأ شیدسپهر دارند. همچنین برای بدست آوردن سرعت‌های دوپلری از تصاویر طیفی استفاده شد و این سرعت‌ها در محدوده ۲۰- الی ۳۰ کیلومتر بر ثانیه محاسبه شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که این نقاط درخشان چشمه‌های نوسانی کوتاه مدت پلاسمایی هستند که از کروموسفر یا جو پایینی خورشید منشأ می‌گیرند.

کلمه‌های کلیدی: نقاط روشن، رنگین‌سپهر، شبکه، آپریس، موجک

۱ مقدمه

رنگ اتمسفر خورشیدی هنگامی که در خطوط انتشار قوی مانند صافی های Ca II ، Mg II و $\text{H}\alpha$ دیده می شود بسیار ناهمگن است. خارج از مناطق فعال، ناهمگونی های عمده مرتبط با سوپرگرانول ها یا طرح های سلول شبکه مشاهده می شود. تفاوت مشخصی بین بخش های مختلف رنگین سپهر، از جمله نقاط درخشان (BPs) در مرز و داخل شبکه، و مناطق تاریک تر که فضای داخلی ابر گرانول ها را تشکیل می دهند، دیده می شود. انتقال انرژی در لایه های جو خورشید به صورت درخشندگی ها و چشمک زن ها بروز می کند.

در فتوسفر، به غیر از لکه ها و حفره های خورشیدی، میدان های مغناطیسی مستقیم و متمرکز به شکل لوله های شار کوچک با میدان های ۱ تا ۲ کیلوگوس وجود دارد. شبکه های رنگین سپهر مناطق بسیار پویا هستند که دارای ساختارهای ظریفی هستند که در شار مغناطیسی محصور شده اند. این ساختارها در داخل شبکه سلول قرار دارند و همچنین سلول های کوچک و تاریک زیادی در اطراف آن وجود دارد. BP ها را می توان به عنوان رد پای اسپیکول ها در نظر گرفت که از طریق آن جرم و انرژی از لایه های پایینی خورشید به سمت تاج به صورت بادهای خورشیدی منتقل می گردد (پارکر ۱۹۸۵، دی پونته و همکاران ۲۰۱۲). شکری و همکاران با یک روش شناسایی خود کار پدیده های مختلف گذرایی مانند درخشندگی ها و نقاط درخشان در تصاویر گرفته شده در طول موج ۳۰۴ آنگستروم، نقاط روشن تاج در خط ماوراء بنفش دور با طول موج ۱۹۳ آنگستروم و نقاط روشن تاجی در ناحیه پرتو ایکس با طول موج ۹۴ آنگستروم را در طی ۱۰ سال چرخه خورشیدی ۲۴ بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که حدود ۸۰ درصد از چشمک زن ها در مرز سوپرگرانول ها مشاهده می شوند و ظاهر این ساختارهای گذرا با چرخه لکه های خورشید همبستگی متقابل دارد.

انتشار جرم و انرژی از لایه های پایین جو خورشید به لایه های بالایی و فضای بین سیاره ای از مسائل مهم فیزیک خورشید است. پرتوهای کیهانی و حجم عظیم پلاسمای باد خورشیدی، شعله ها، و پرتاب های جرم تاجی به طور مداوم جو زمین و مغناطیسی آن را تحت تاثیر قرار می دهد. به عنوان مثال، این فعل و انفعالات با جو زمین و میدان های مغناطیسی به صورت اختلالات ژئومغناطیسی ممکن است بر آب و هوای فضا، ارتباطات، سیستم های ناوبری و فضانوردی تاثیر بگذارد (پارکر ۱۹۵۸، یانگ و همکاران ۱۹۸۲، بوروسکی و همکاران ۲۰۰۳، کرانمر و همکاران ۲۰۱۷، گری و همکاران ۲۰۰۶، فرهنگ و همکاران ۲۰۱۸، علی پور و همکاران ۲۰۱۹). تاران و همکاران (۲۰۱۹) یک روش شبیه سازی، برای بادهای خورشیدی سریع با مدل دو سیاله شامل الکترون ها و پروتون ها ارائه کردند. آنها در این شبیه سازی، تبادل انرژی بین ذرات پلاسما و امواج آلفون با فرکانس پایین را در نظر گرفته و نشان دادند که در فاصله ۰/۳ الی ۱ فاصله نجومی از خورشید، چگالی الکترونها، مولفه های دما، و مولفه های شار حرارتی از رفتار قانون توان پیروی می کنند. نتایج آنها همچنین نشان داد که در نزدیکی زمین، سرعت جریان الکترون یا پروتون ها با کاهش شاخص K مغناطیسی افزایش می یابد.

برای اولین بار، اسپیکول ها توسط رابرتز (۱۹۴۵) برای توصیف جت های خورشیدی، یک پدیده غالب در لایه رنگین سپهر در حفره های تاج خورشیدی تا فاصله ۱۰۰۰۰ کیلومتری معرفی شدند. اگرچه در دو دهه اخیر، با وجود مشاهدات با وضوح بالا و پیشرفت تئوری ها، گام های موثری برای تعیین دینامیک و پارامترهای مختلف ترمودینامیکی آنها مانند دما و چگالی برداشته شده است، اما مکانیسم مسئول تشکیل آنها هنوز ناشناخته است. این ابهامات به دلیل تفاوت در ظاهر آنها در نتیجه مشاهده در خطوط طیفی و طول موج های مختلف است. توایی و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که از نظر قطر، چهار نوع

تاریک روی رنگین سپهر را مطالعه کردند. همچنین با توجه به برخی خصوصیات فیزیکی و خواص دینامیکی، ارتباط نقاط تاریک و BPs با توپولوژی میدان مغناطیسی و مکانیسم تشکیل آنها را بررسی کردند. در طول دو دهه گذشته، مطالعات در مقیاس کوچک، ویژگی‌های مغناطیسی BPs در اتمسفر پایین تر خورشید و رابطه آنها با لایه‌های جوی بالاتر مورد مطالعه قرار گرفته است (ریتمولر ۲۰۱۳). پیشنهاد شده است که BP‌های شبکه اثرات واضح عناصر میدان مغناطیسی قوی و کوچک هستند که شبکه مغناطیسی را تشکیل می‌دهند. دما در رنگین سپهر بیش از ۲۰ کیلو کلوین و در تاج بیش از ۵۰۰ کیلو کلوین است. بین این دو منطقه، منطقه‌ای است که به منطقه رنگین سپهر-انتقالی معروف است. این ناحیه به ناحیه انتقالی اطلاق می‌شود که در آن بیشتر نور آن از طیف فرابنفش ساطع می‌شود. ضخامت ناحیه انتقالی چند صد تا چند هزار کیلومتر است (اشواندن ۲۰۰۱). تاج لایه بیرونی اتمسفر خورشیدی است که بعد از شیدسپهر و رنگین سپهر قرار دارد و چگالی آن کمتر از تمام قسمت‌های خورشید است (روتن ۲۰۰۷). گرمایش کرونا یکی از مسائل حل نشده در فیزیک خورشیدی است و بسیاری از دانشمندان در حال حاضر در حال بررسی آن هستند. از سال‌های اولیه کشف دمای بالای تاج، روش‌ها و مکانیسم‌های مختلفی برای توجیه این پدیده ارائه شده است. در ابتدا تصور می‌شد که امواج صوتی در تاج که ریشه در حرکات لایه‌های سطحی خورشید دارد باعث افزایش دما می‌شود. با این حال، بعداً مشخص شد که این امواج آنقدر پرا انرژی نیستند که بتوانند این دمای بالا را فراهم کنند. در چند سال گذشته مطالعات گسترده‌ای برای کشف مکانیسم‌های گرمایش لایه‌های بیرونی جو خورشید انجام شده است، به‌عنوان مثال، انتقال انرژی از لایه‌های پایینی جو به لایه‌های بالایی یا آزاد شدن انرژی تحت تأثیر برهم‌کنش گاز یا پلاسما و همچنین برهم‌کنش لوله‌های شار در لایه‌های مختلف جو خورشید

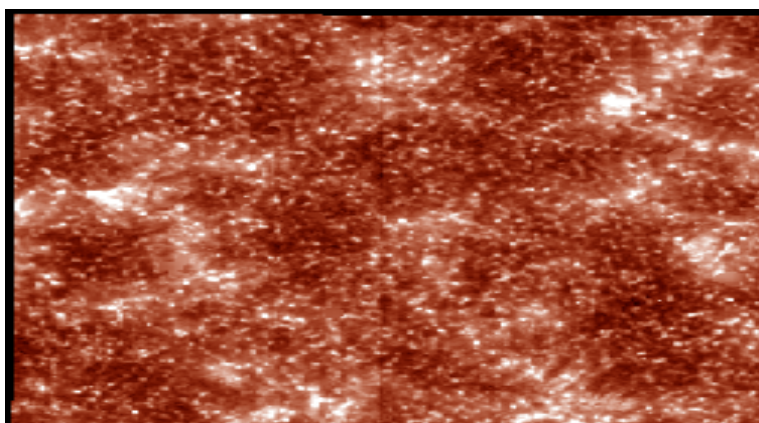
اسپیکول با قطرهای ۰/۳ ثانیه کمانی (۲۲۰ کیلومتر)، ۰/۵ ثانیه کمانی (۳۶۰ کیلومتر)، ۰/۷۵ ثانیه کمانی (۵۵۰ کیلومتر) و ۱/۱۵ ثانیه کمانی (۸۵۰ کیلومتر) وجود دارد. از نظر ابعاد، طول عمر و شرایط فیزیکی آنها، شواهد غیرمستقیم وجود دارد که نشان می‌دهد بین هویت اسپیکول‌ها و BPs شبکه رنگین سپهر ارتباط وجود دارد که می‌توان آن را به موقعیت میدان مغناطیسی اطراف نقاط نسبت داد. BP‌ها گروه‌های کوچک‌تر یا بزرگ‌تری تشکیل می‌دهند که به دلیل مورفولوژی خاص، لوله‌های شار پلاسما را به تاج مغناطیسی حمل می‌کنند. رفتار جریان در امتداد BPs و سیخک‌ها موضوعی قابل بحث است. با این حال، مشاهدات محتویات سیخک‌ها نشان دهنده حرکات دوره‌ای به سمت بالا و پایین است. با شواهد تجربی توایی و همکاران (۲۰۱۵) یک جریان دو جهته با کاهش دامنه در نقاط روشن و تاریک را شناسایی کردند که مکانیسم‌های مختلفی برای شکل‌گیری آنها معرفی شده است. تاکنون در مورد اتصال مجدد خطوط میدان و بالا و پایین رفتن آنها مدل‌های مختلفی ارائه شده است. این مدل‌ها را می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد: مدل‌های غیرتعادلی مبتنی بر امواج هیدرودینامیکی یا شوک‌های بازتاب‌شده، مدل‌های مبتنی بر امواج آلفون و مدل‌های مبتنی بر اتصال مجدد خطوط میدان مغناطیسی (استرلینگ ۲۰۰۰). در حال حاضر هیچ انتخاب روشنی به عنوان بهترین مدل وجود ندارد. در بین این مدل‌ها، اتصال مجدد مغناطیسی یک مکانیسم جالب و جذاب باقی مانده است. با توجه به اینکه اسپیکول‌ها توسط برهم‌کنش قطب‌های مخالف خطوط میدان مغناطیسی توسط حرکات همرفتی تولید می‌شوند (اوچیدا و همکاران، ۱۹۶۹) مدل مشابهی را پیشنهاد کردند. آنها ادعا کردند که این الگوی جریان تطبیقی است که انتظار می‌رود در فرآیند اتصال مجدد مغناطیسی رخ دهد. آنها با استفاده از مجموعه‌ای طولانی از مختصات مکانی و زمانی تصاویر خورشیدی، برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی لکه‌های

بررسی کردند و نشان دادند که امواج مغناطیسی آکوستیک بین ارتفاعات فوتوسفر و ناحیه انتقالی با دوره‌های ۲ تا ۹ دقیقه منتشر می‌شوند. دو روش اساسی برای تحلیل نوسانات وجود دارد که شامل تحلیل فوریه و موجک می‌شود. تحلیل نوسانات به روش فوریه یکی از قدیمی‌ترین روش‌هاست. این روش می‌تواند فواصل زمانی را به محدوده فرکانس تبدیل کند و بالعکس (کایشاپ و همکاران ۲۰۱۸ و ۲۰۱۸، ضیغمی و همکاران ۲۰۲۰، بلومفیلد و همکاران ۲۰۰۴). مبنای تحلیل فوریه امواج سینوسی است که از مثبت بی‌نهایت به منفی بی‌نهایت گسترش می‌یابد. در روش موجک سیگنال‌ها در دو حوزه زمانی و فرکانسی مورد تحلیل قرار می‌گیرند که برای ماهیت نوسانات خورشیدی مناسب هستند. همچنین در این روش برای هر نوع ساختار، تابع موجک مناسب (تابع مادر) انتخاب می‌شود. ما در تحقیق حاضر با استفاده از روش موجک زمان تناوب سیگنال‌های گسسته نقاط روشن را در سه طول موج ۱۳۳۰، ۱۴۰۰ و ۲۷۹۶ آنگستروم برای نقاط روی شبکه و داخل شبکه مورد بررسی قرار می‌دهیم. همچنین سرعت‌های دوپلری آنها را نیز تعیین می‌نماییم.

۲ مشاهدات

داده مورد استفاده دریافتی از تلسکوپ فضایی آیریس در تاریخ ۲۷/۰۵/۲۰۱۵ در ساعت ۱۸:۴۱-۱۱:۵۶ و با اختلاف زمانی تصاویر یا گام ۵ ثانیه (Step, Raster Cad=5s) است (دی پونته و همکاران ۲۰۱۴). از این داده‌ها ۱۲۰۰ فریم تصویر SJI با گام ۲۰ ثانیه‌ای در طول موج‌های ۱۳۳۰ و ۱۴۰۰ و ۲۷۹۶ آنگستروم انتخاب شد. شکل ۱ نمونه‌ای از تصویر رصد شده را که توسط آیریس گرفته شده نشان می‌دهد.

در همه این موارد، نقش میدان مغناطیسی خورشید در ایجاد، انتقال و رهاسازی این انرژی‌ها یکی از مهمترین موارد است. با این حال، در چند دهه گذشته، تمرکز این مطالعات بر روی مناطق فعال مغناطیسی بوده است که برخلاف منطقه نسبتاً آرام خورشید، سیگنال بسیار بالاتری نسبت به آشکارسازها دارند. از سوی دیگر، یک منطقه آرام از خورشید، به ویژه مناطق بین شبکه‌ای، سطح بسیار بزرگتری از کل سطح خورشید (حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد از کل سطح خورشید) را پوشش می‌دهد. ستاره‌شناسان از نظر تئوری نشان داده‌اند که این نواحی بیشترین قدرمطلق شار را در تمام سطح خورشید در هر لحظه از زمان دارند. همچنین به دلیل تغییر در فعالیت میدان مغناطیسی خورشید در دو دوره تناوبی حدود ۱۱ ساله، در بسیاری از سال‌ها که خورشید در حداقل فعالیت خود قرار دارد، عناصر فعال نسبتاً بزرگ به ندرت در سطح دیده می‌شوند. اگر تغییرات دما در جو خورشید هرگز قابل توجه نباشد. مناطق شبکه دارای غلظت نسبتاً زیادی از عناصر مغناطیسی (چگالی عددی) و مناطق بین شبکه‌ای با مساحت بسیار بزرگ‌تر از شبکه است که حاوی نواحی مغناطیسی نسبتاً کوچکی است و فقط با تلسکوپ‌های بزرگ قابل تشخیص است. توابع (۲۰۱۸) دریافت که بخش غالب انتشار BPs تاج، می‌تواند با منشاء مغناطیسی در فوتوسفر همراه باشد. یکی از مهمترین مسائل در جو خورشید، رفتار دینامیکی پلاسمای خورشیدی است، یعنی پدیده‌های مرتبط با انتشار امواج. این امواج می‌توانند از طریق انتقال انرژی و تکانه نقش مهمی در افزایش دمای اتمسفر خورشید داشته باشند. کایشاپ و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی خورشید آرام، انتشار امواج صوتی در ناحیه گذار (TR) از فوتوسفر را نشان دادند. کایشاپ و همکاران (۲۰۲۰)، یک منطقه فعال را



شکل ۱. تصویر رصد شده در تاریخ ۲۰۱۵/۵/۲۷ در ساعت ۱۱:۵۶-۱۸:۴۱ توسط آپریس.

به طوری که به وضوح ساختار شبکه دانه‌ها و مرز مابین آنها دیده می‌شود. ما ۳ نقطه از داخل دانه‌های داخل شبکه یا ریز دانه‌ها و ۳ نقطه نیز بر روی مرز انتخاب کردیم. خصوصیات مورد نظر ما منزوی بودن و داشتن تناوب ظهور و محو شدنشان بود.

نقاط روی مرز شبکه با مختصات زیر انتخاب شد که در شکل ۲ سمت راست دیده می‌شود:

مختصات نقطه اول (۱۷۲ و ۹۴)

مختصات نقطه دوم (۲۰۴ و ۲۱۶)

مختصات نقطه سوم (۱۸۸ و ۲۴۶)

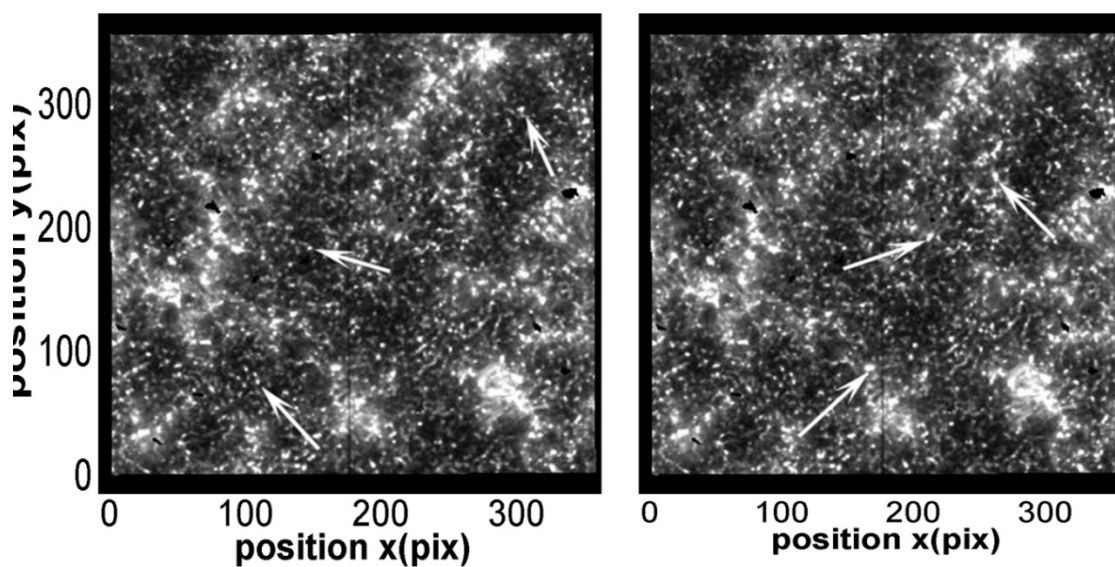
مختصات نقاط در داخل یک ابر دانه یا شبکه در شکل ۲

سمت چپ نشان داده شده است:

مختصات نقطه اول (۸۷ و ۱۱۹)

مختصات نقطه دوم (۱۹۳ و ۱۵۸)

مختصات نقطه سوم (۲۹۹ و ۳۱۲).



شکل ۲. سمت راست نمایش نقاط روشن بر روی مرز شبکه یا یک ابر دانه، سمت چپ نقاط روشن در داخل شبکه بر روی تصویر رصد شده. پیکان‌های سفید به نقاط مذکور اشاره می‌کنند. خط مشکی نازک عمودی در تصاویر که تقریباً از وسط تصویر عبور کرده محل شکاف تلسکوپ را نشان می‌دهد.

۳ آنالیز داده‌ها

پس از به دست آوردن تصاویر Sji، سه نقطه درخشان در روی شبکه و سه نقطه درخشان داخل شبکه انتخاب شدند. خصوصیات آنها این بود که مجزا باشند و یک دوره ظهور و محوشدگی داشته باشند. پس از آماده‌سازی تصاویر، مربع‌های ۱۰ پیکسل در ۱۰ پیکسل در نظر گرفته می‌شود که نقاط را پوشش می‌دهد و سپس شدت پیکسل‌های این مربع برای تمام تصاویر جمع می‌شوند. این مراحل برای ۱۷۰ فریم از تصاویر با فاصله زمانی ۲۰ ثانیه تکرار می‌شود. بنابراین، سیگنال‌های شدت به دست می‌آید. تصاویر سمت چپ شکل‌های ۳ الی ۱۱ منحنی تغییرات شدت-زمان را به ترتیب برای سه نقطه روشن روی شبکه در طول موج‌های ۱۳۳۰، ۱۴۰۰ و ۲۷۹۶ آنگستروم نشان می‌دهند. تصاویر سمت چپ شکل‌های ۱۲ تا ۲۰ منحنی تغییرات شدت-زمان را به ترتیب برای سه نقطه روشن داخل شبکه در طول موج‌های ۱۳۳۰، ۱۴۰۰ و ۲۷۹۶ آنگستروم نشان می‌دهند.

با استفاده از تحلیل موجک (تورنس و شامپو، ۱۹۹۸)، شدت نوسانات انتخاب شده در مرز و داخل شبکه مورد بررسی قرار می‌گیرد. تجزیه و تحلیل موجک سیگنال‌ها برای ماهیت ذاتی ساختار خورشیدی بسیار مناسب هستند. یکی از ویژگی‌های مهم تحلیل موجک، شکل دلخواه است، به طوری که برای هر نوع ساختار، تابع موجک مناسب (تابع مادر) انتخاب می‌شود. تحلیل موجک مورد استفاده ما مورلت ۶ است.

بطور کلی تبدیل موجک بصورت زیر بیان می‌شود (تورنس و شامپو ۱۹۹۸):

$$C(\text{Scale, position}) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Psi(\text{scale, position, } t) dt \quad (1)$$

که در آن Ψ تابع مادر آنالیز موجک است. یکی از مهمترین خواص آنالیز موجک مقیاس‌بندی متفاوت آن است، بطوریکه این خاصیت از یک مقدار بسیار کوچک شروع شده و ضرایب همبستگی تابع مادر موجک با سیگنال

ورودی بدست می‌آید و پس از آن این تابع در طول سیگنال ورودی جابجا خواهد شد، بطوری که اگر تابع مادر اولیه $\Psi(t)$ باشد در گام بعدی تابع مادر $\Psi(t-k)$ خواهد بود که k نشان دهنده مقدار شیفت مزبور می‌باشد. شکل ریاضی تابع مورلت بصورت زیر بیان می‌شود:

$$\Psi(x) = ce^{-\frac{x^2}{2}} \cos(kx) \quad (2)$$

که در آن c ضریب ثابتی برای نرمالیزاسیون بوده و k نشان دهنده مرتبه یا تعداد پیک‌های نمودار مورلت است.

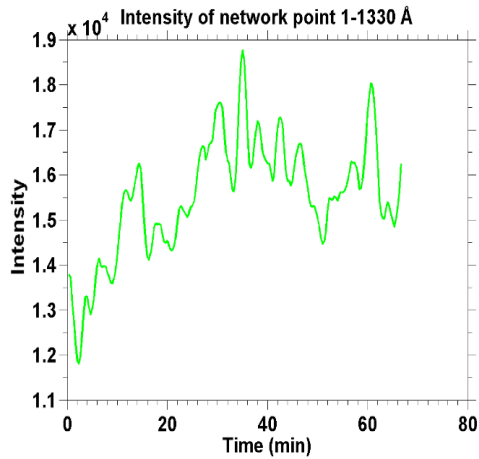
تصاویر سمت راست شکل‌های ۳ الی ۱۱ نتایج آنالیز موجک را به ترتیب برای سه نقطه روشن روی شبکه در طول موج‌های ۱۳۳۰، ۱۴۰۰ و ۲۷۹۶ آنگستروم نشان می‌دهند. تصاویر سمت راست شکل‌های ۱۲ الی ۲۰ نتایج آنالیز موجک را به ترتیب برای سه نقطه روشن داخل شبکه در طول موج‌های ۱۳۳۰، ۱۴۰۰ و ۲۷۹۶ آنگستروم نشان می‌دهد.

برای تعیین سرعت دوپلری، ابتدا پروفایل‌های شدت طیف در امتداد شکاف، در ناحیه خورشید آرام جایی که هیچ پیشرفت آبی یا قرمز در طیف مشاهده نمی‌شود بدست می‌آید. سپس شدت طیف این ناحیه به ازای کادری به ابعاد 10×10 پیکسل میانگین‌گیری می‌شود.

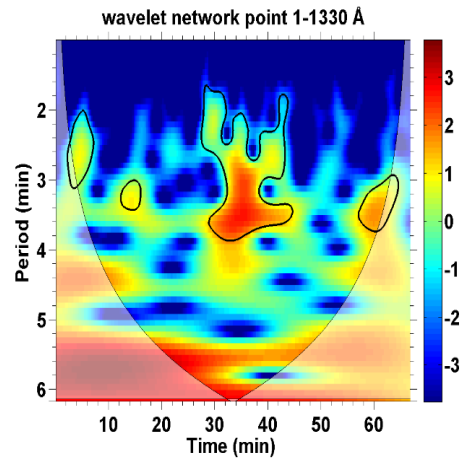
با برازش گاوسی این طیف متوسط، مرکز تابع گاوسی تعیین می‌شود. اختلاف بین طول موج پیک پروفایل برازش شده و طول موج استاندارد آهن، مقدار تصحیح طیفی به مقدار 0.0421 برآورد گردید. (مقاله حسینی و همکاران ۲۰۲۴ را ببینید). همچنین پهن‌شدگی ابزاری طیف نگار آریس برای پروفایل‌های طیفی در نظر گرفته خواهد شد (0.026 آنگستروم به ازای پرتو FUV).

در مرحله بعد، پروفایل‌های شدت طیف نقاط درخشان را که زیر شکاف مشاهده می‌شوند به دست آورده و با در نظر گرفتن تصحیحات ذکر شده در بالا پروفایل مربوط به ساختارهای درخشان بدست می‌آید. سپس با برازش شدت

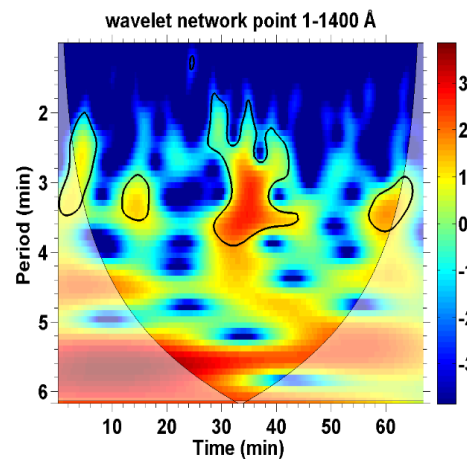
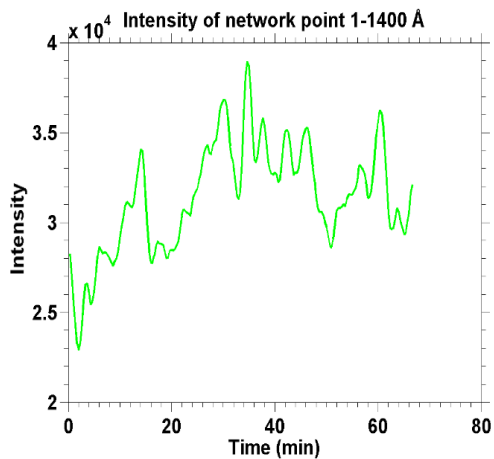
پیشرفت‌هایی به سمت آبی و قرمز در پروفایل‌های خطی دارد، که نشانه حرکت رو به بالا و پایین نقاط درخشان است.



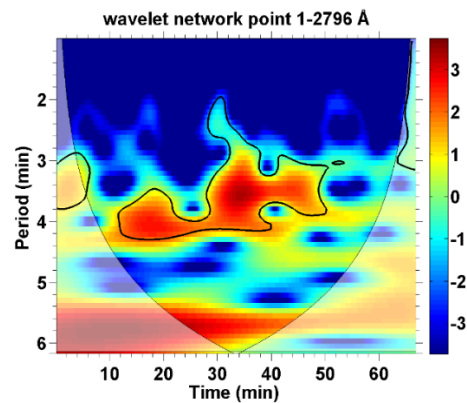
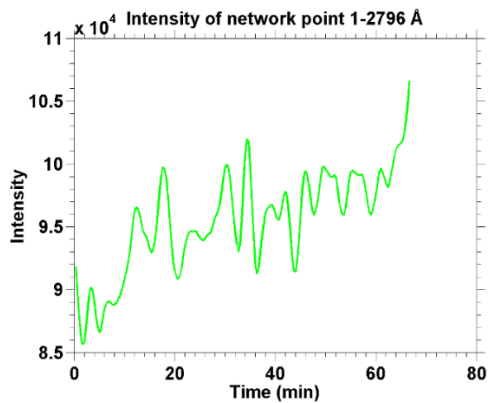
طیف، با استفاده از تابع گاوسی تحت برنامه‌نویسی MATLAB پیک شدت تعیین می‌شود (توایی و همکاران ۲۰۲۲). در این تحقیق مشاهده شد که طیف Si IV



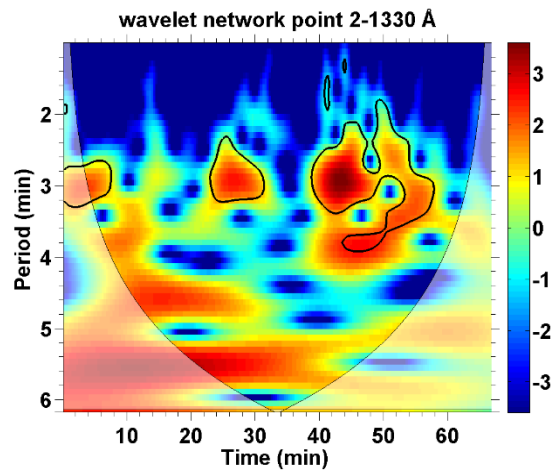
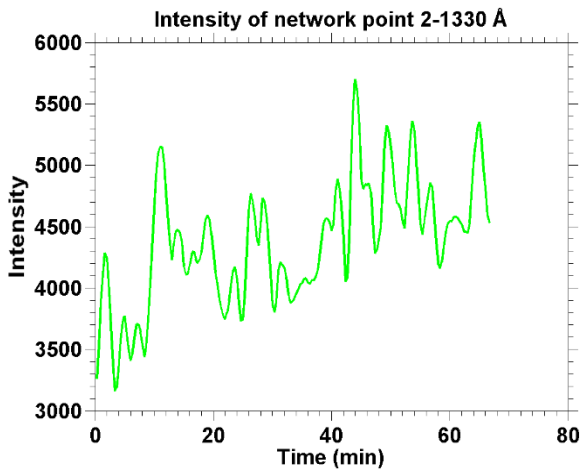
شکل ۳. سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل سمت راست تبدیل موجک برای نقطه اول بر روی مرز شبکه در طول موج ۱۳۳۰ آنگستروم می‌باشد.



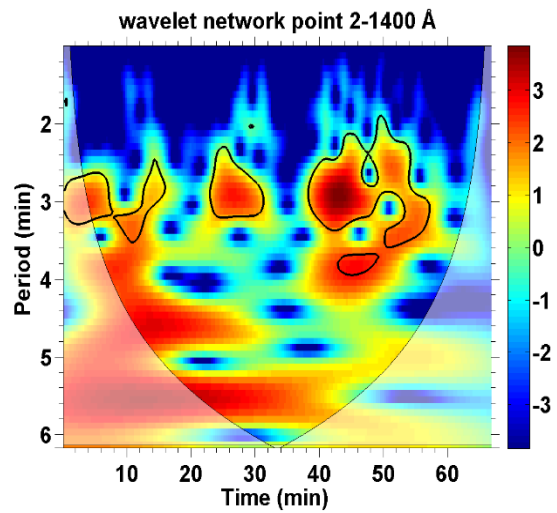
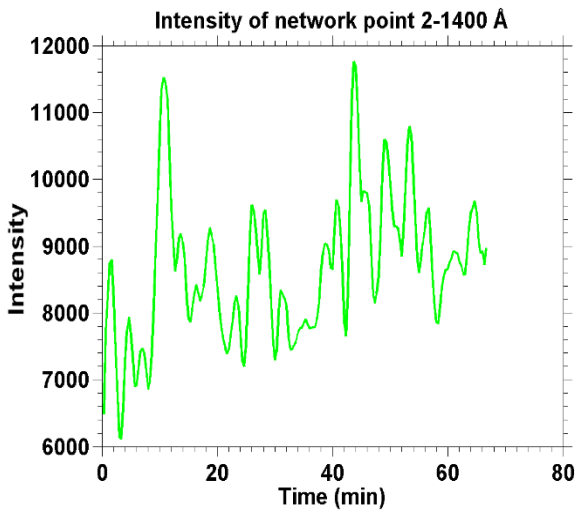
شکل ۴. سمت چپ، نوسانات شدت- زمان و سمت راست تبدیل موجک برای نقطه درخشان اول بر روی مرز شبکه در طول موج ۱۴۰۰ آنگستروم می‌باشد.



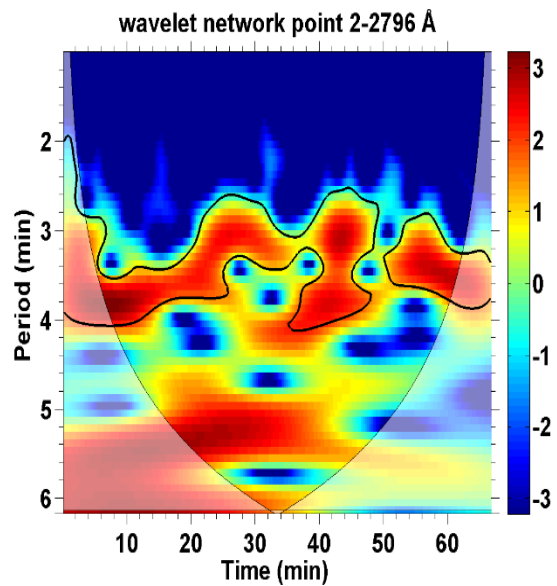
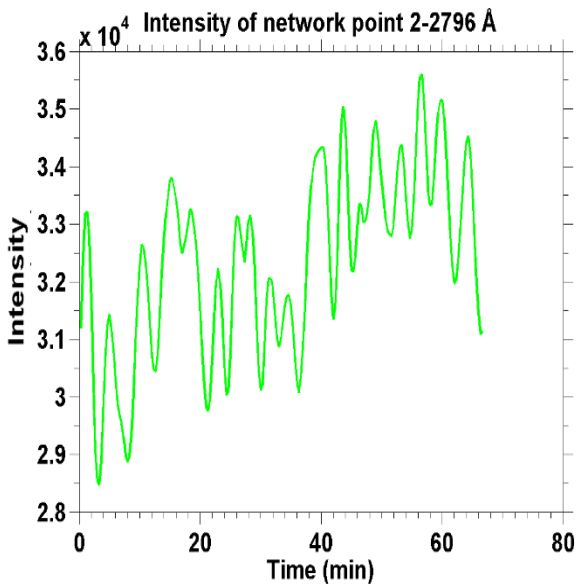
شکل ۵. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل سمت راست تبدیل موجک برای نقطه درخشان اول بر روی مرز در طول موج ۲۷۹۶ آنگستروم است.



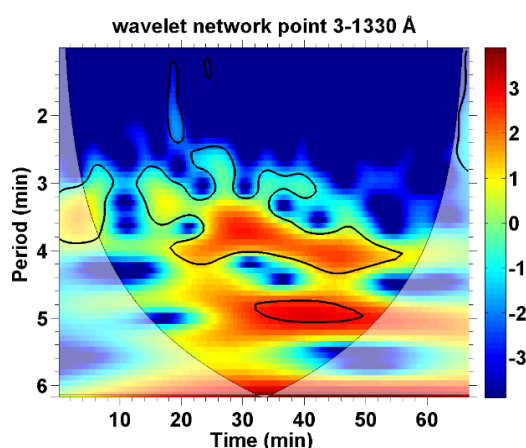
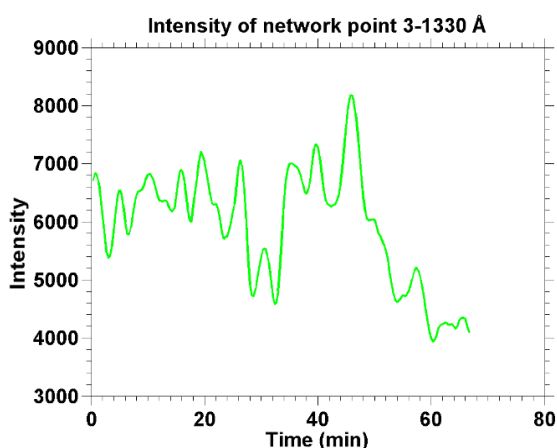
شکل ۶. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل راست تبدیل موجک برای نقطه دوم بر روی مرز در طول موج ۱۳۳۰ آنگستروم است.



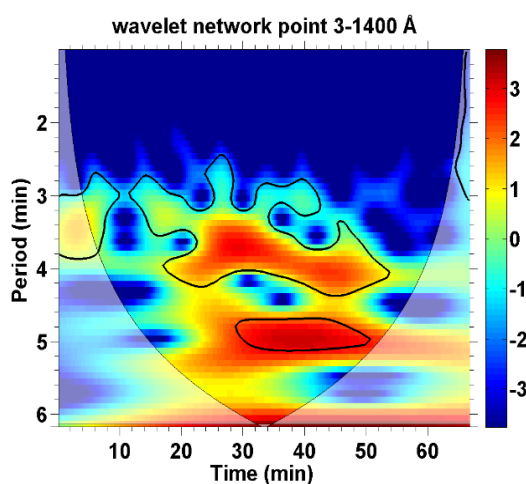
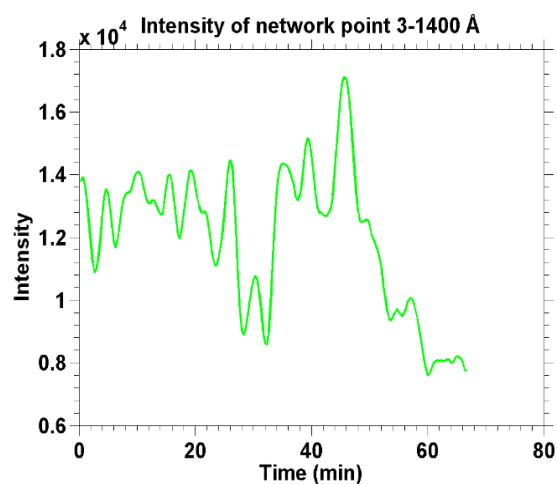
شکل ۷. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل راست تبدیل موجک برای نقطه دوم بر روی مرز در طول موج ۱۴۰۰ آنگستروم است.



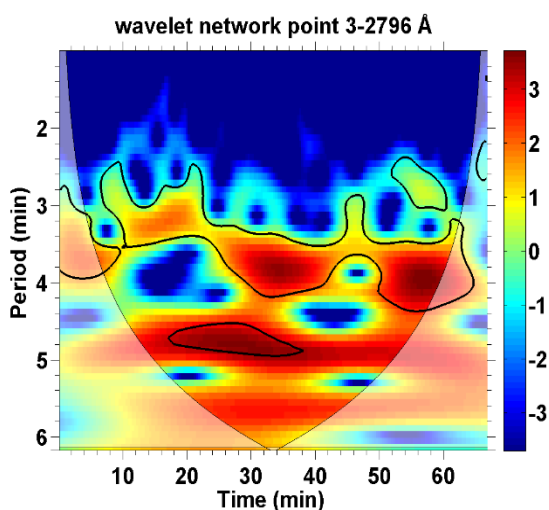
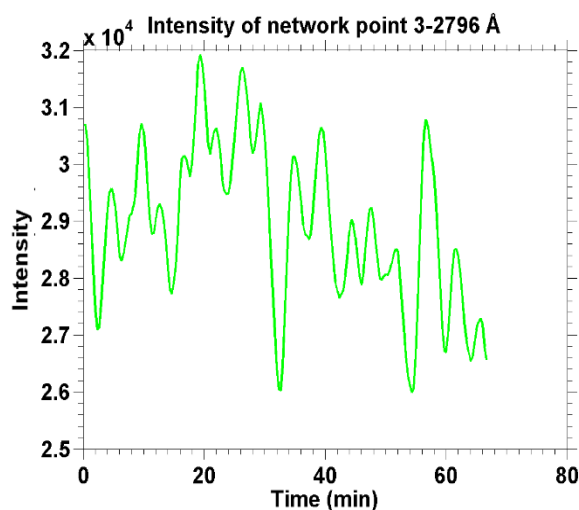
شکل ۸. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل راست تبدیل موجک برای نقطه دوم بر روی مرز در طول موج ۲۷۹۶ آنگستروم است.



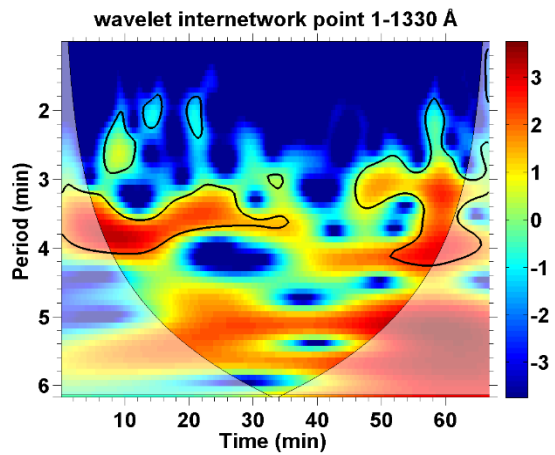
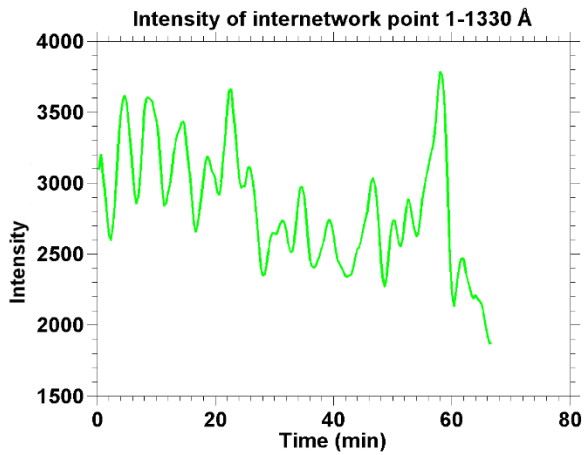
شکل ۹. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل سمت راست تبدیل موجک برای نقطه سوم بر روی مرز در طول موج ۱۳۳۰ آنگستروم است.



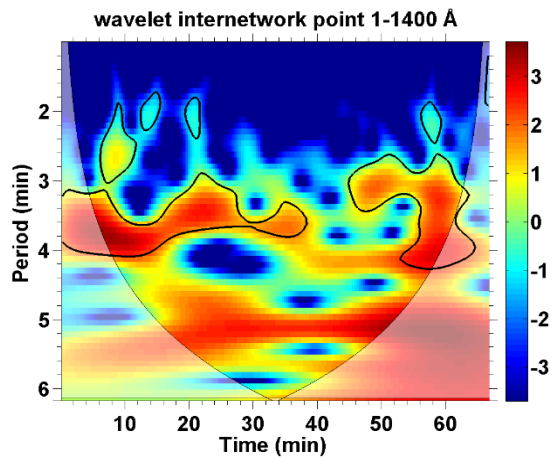
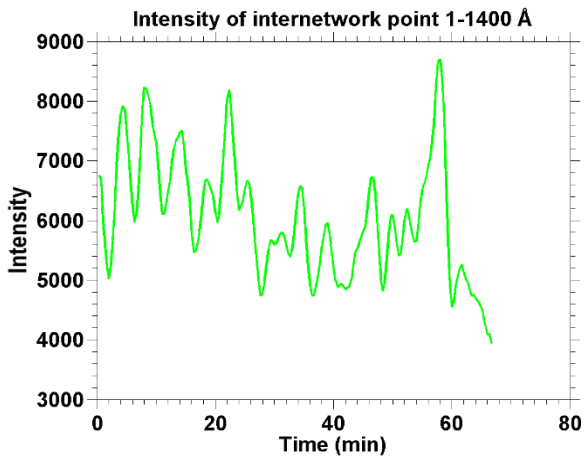
شکل ۱۰. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل سمت راست تبدیل موجک برای نقطه سوم بر روی مرز در طول موج ۱۴۰۰ آنگستروم است.



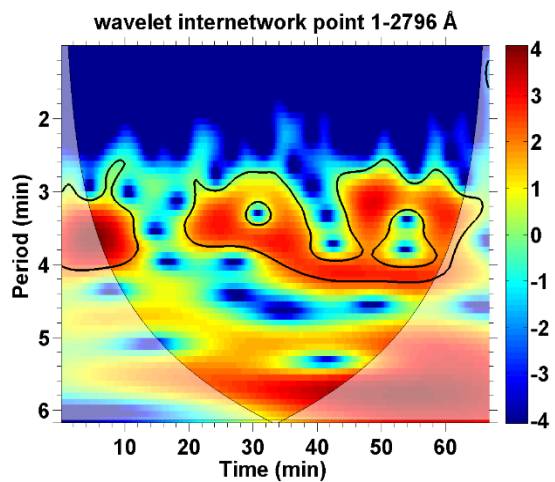
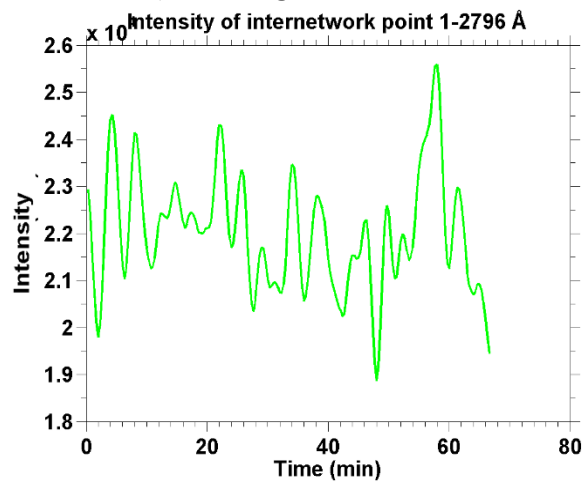
شکل ۱۱. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل سمت راست تبدیل موجک برای نقطه سوم بر روی مرز در طول موج ۲۷۹۶ آنگستروم را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل سمت راست تبدیل موجک برای نقطه اول در داخل شبکه در طول موج ۱۳۳۰ آنگستروم است.

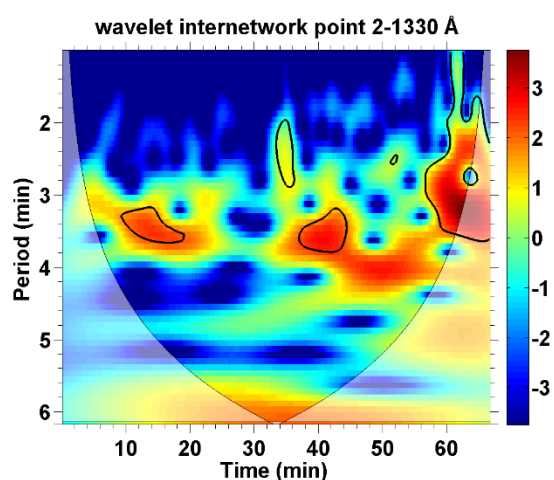
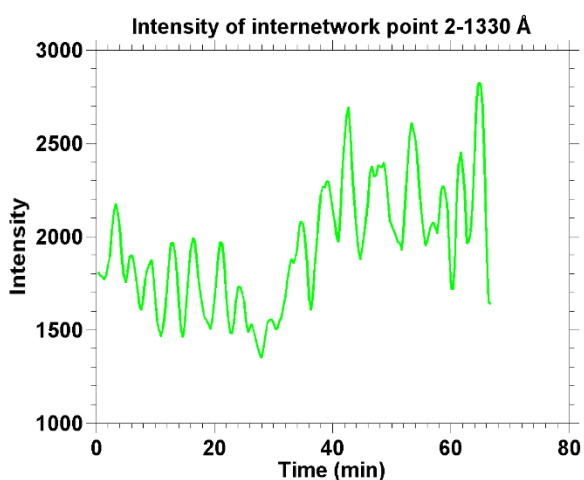


شکل ۱۳. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل سمت راست تبدیل موجک برای نقطه اول در داخل شبکه در طول موج ۱۴۰۰ آنگستروم است.

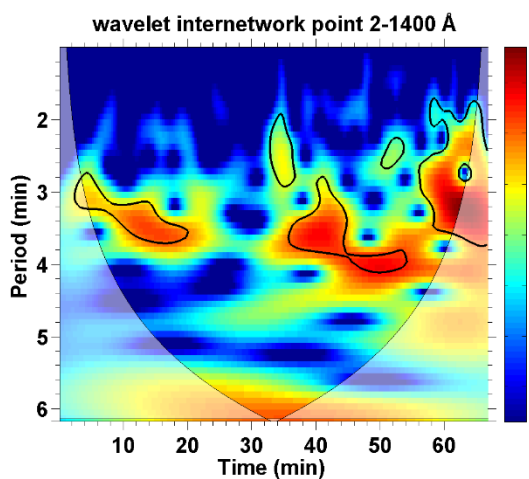
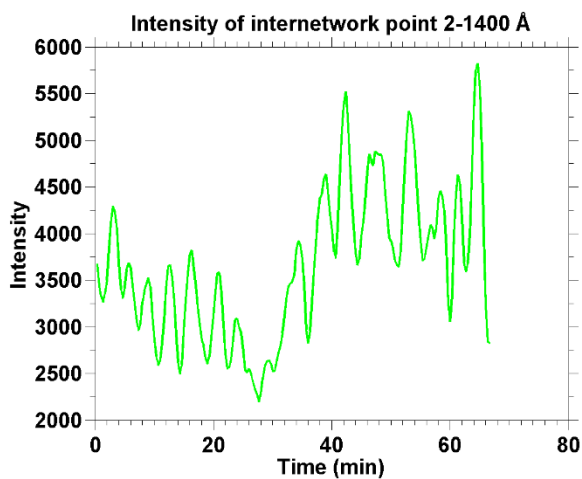


شکل ۱۴. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل سمت راست تبدیل موجک برای نقطه اول در داخل شبکه در طول موج ۲۷۹۶ آنگستروم را نشان

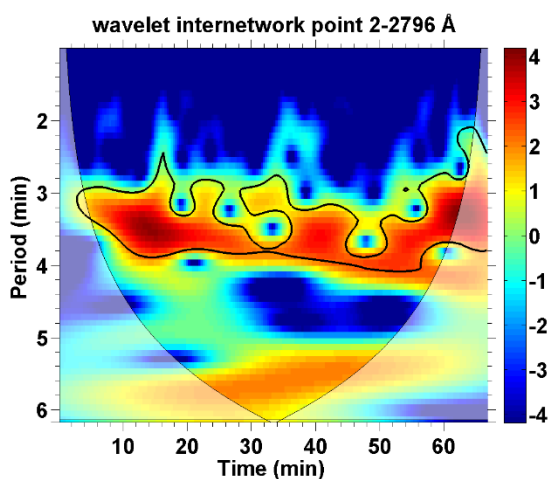
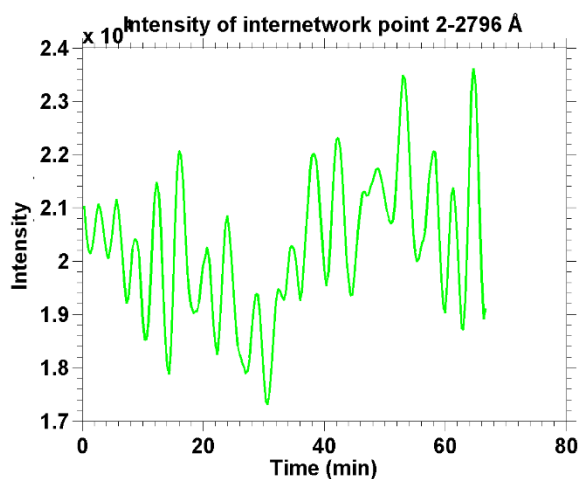
می دهد.



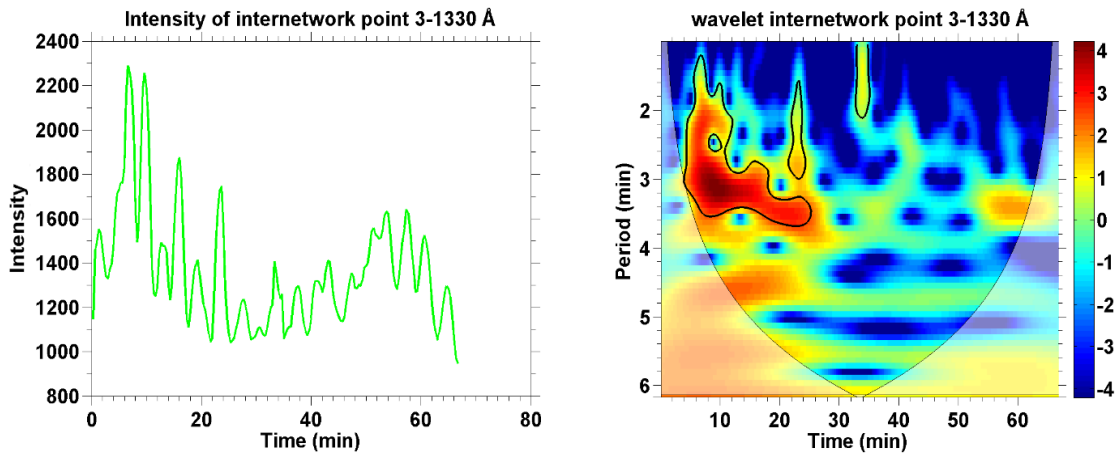
شکل ۱۵. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل سمت راست تبدیل موجک برای نقطه دوم در داخل شبکه در طول موج ۱۳۳۰ آنگستروم را نشان می‌دهد.



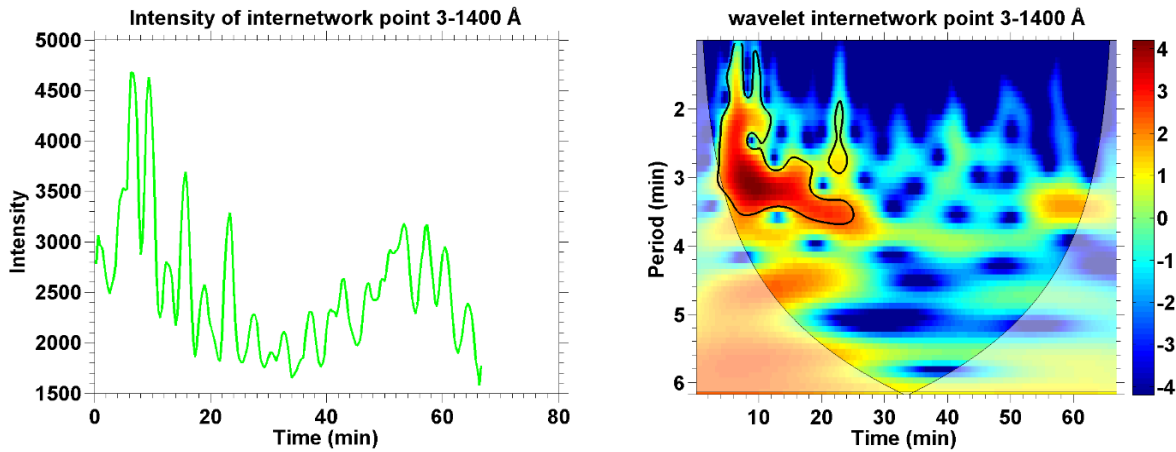
شکل ۱۶. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل سمت راست تبدیل موجک برای نقطه دوم در داخل شبکه در طول موج ۱۴۰۰ آنگستروم است.



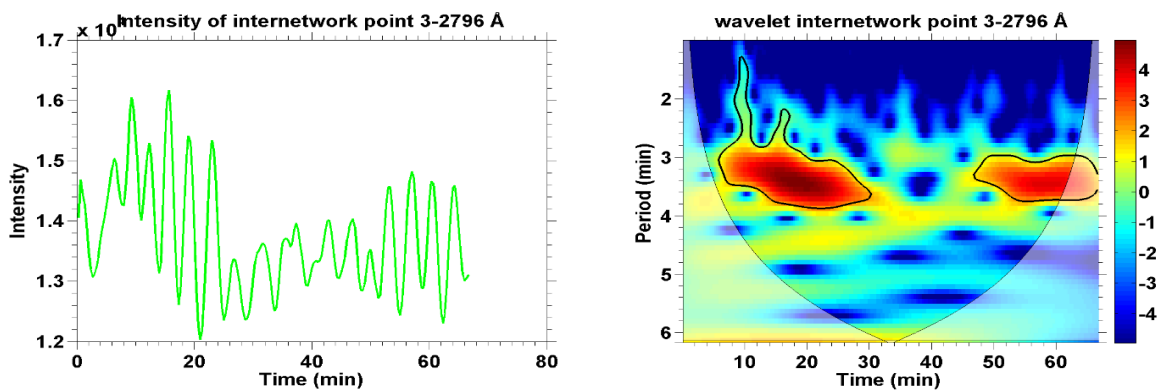
شکل ۱۷. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل سمت راست تبدیل موجک برای نقطه دوم در داخل شبکه در طول موج ۲۷۹۶ آنگستروم است.



شکل ۱۸. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل سمت راست تبدیل موجک برای نقطه سوم در داخل شبکه در طول موج ۱۳۳۰ آنگستروم است.



شکل ۱۹. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل سمت راست تبدیل موجک برای نقطه سوم در داخل شبکه در طول موج ۱۴۰۰ آنگستروم را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰. شکل سمت چپ نمودار نوسانات شدت- زمان و شکل سمت راست تبدیل موجک برای نقطه اول در داخل شبکه در طول موج ۲۷۹۶ آنگستروم است.

برازش گاوسی مرتبه دوم در شکل‌های بالا و پایینی سمت راست شکل ۲۴ کاملاً محسوس بوده و دو قله طیف دیده می‌شود. بر روی نمودارها مقادیر نیکویی برازش (χ^2)، عرض خط (σ) برحسب کیلومتر بر ثانیه و سرعت دوپلری (V_D) برحسب کیلومتر بر ثانیه درج شده است. همانطور که دیده می‌شود مقدار نیکویی برازش در منحنی‌های سمت راست کمتر از یک می‌باشند. در شکل ۲۲ هم منحنی سمت راست بالایی برازش گاوسی مرتبه دوم با دو قله قابل مشاهده است. در سایر منحنی‌های برازش شده گاوسی مرتبه دوم یک قله دیده می‌شود اما بهینه شدن مقدار نیکویی برازش محسوس است. متوسط سرعت دوپلری در داده‌ها به اندازه ۲۰- الی ۳۰ کیلومتر بر ثانیه به دست آمد. لازم به توضیح است که در پروفایل‌هایی که دارای دو پیک می‌باشند، سرعت دوپلری میانگین از رابطه زیر بدست می‌آید:

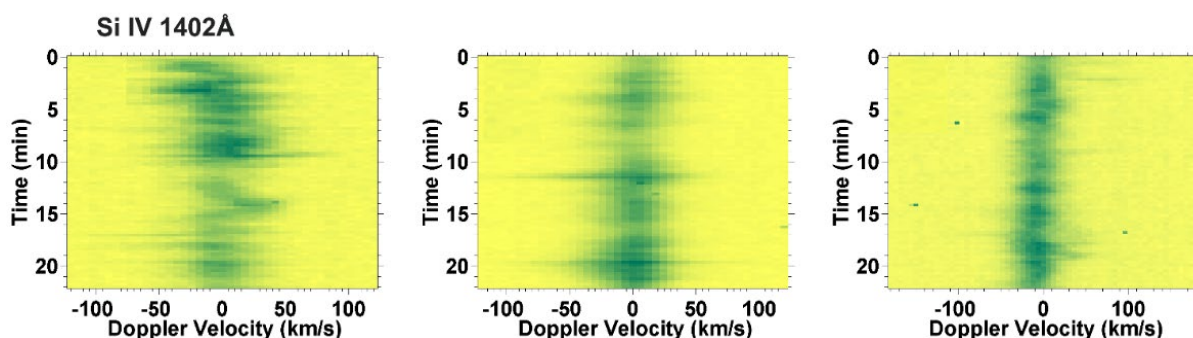
$$\Delta v = \frac{-1}{2} \frac{c}{\lambda} (\lambda(b) - \lambda(r)) \quad (4)$$

که در آن λ طول موج مرکز مینیمم پروفایل، $\lambda(r)$ و $\lambda(b)$ به ترتیب طول موج‌های پیک آبی و قرمز طیف هستند.

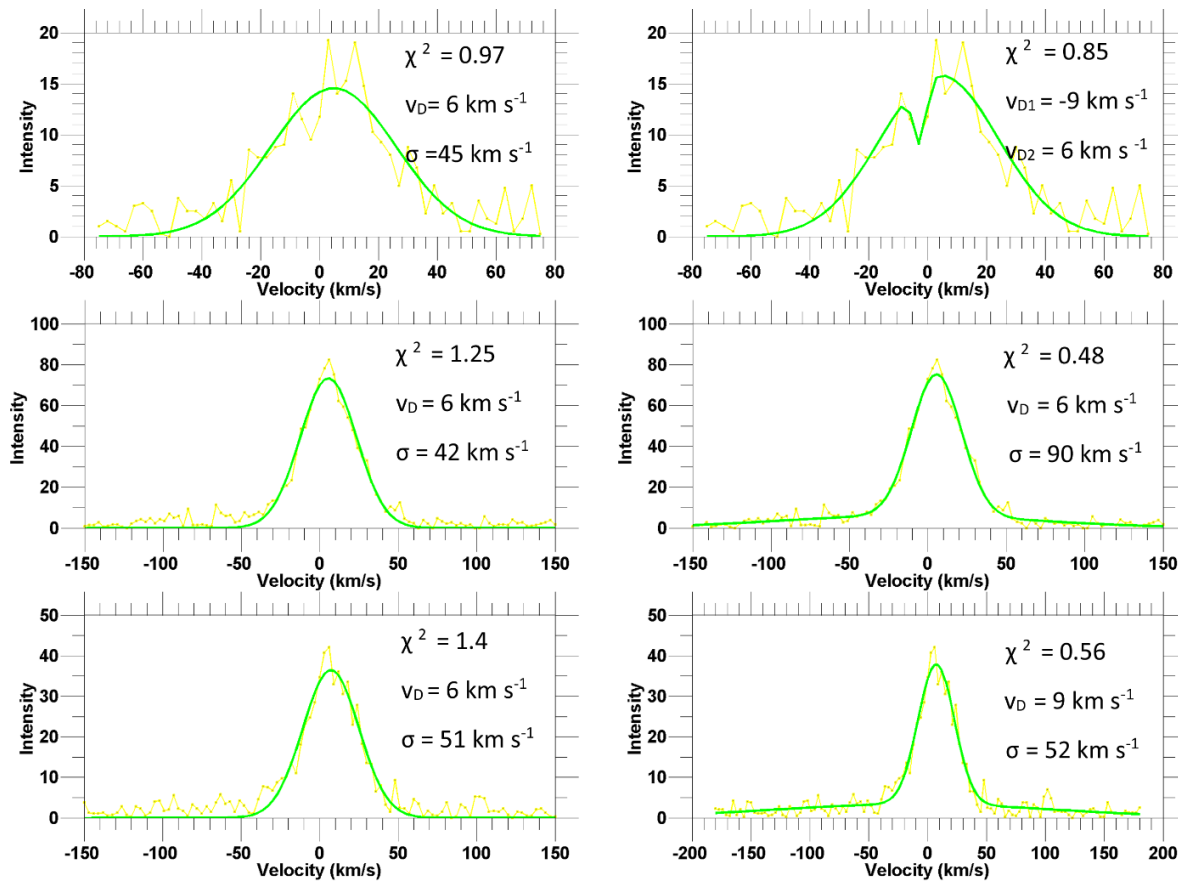
شکل‌های ۲۱ و ۲۳ تحول زمانی طیف Si IV را به ترتیب برای سه نقطه درخشان در داخل شبکه و روی شبکه نشان می‌دهد. جابجایی‌های دوپلری به سمت قرمز و آبی طیف در طول زمان (محور قائم) در این شکل‌ها دیده می‌شود. محور قائم نشان دهنده زمان برحسب دقیقه و محور افقی نشان دهنده سرعت است که با استفاده از معادله زیر مدرج شده است:

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

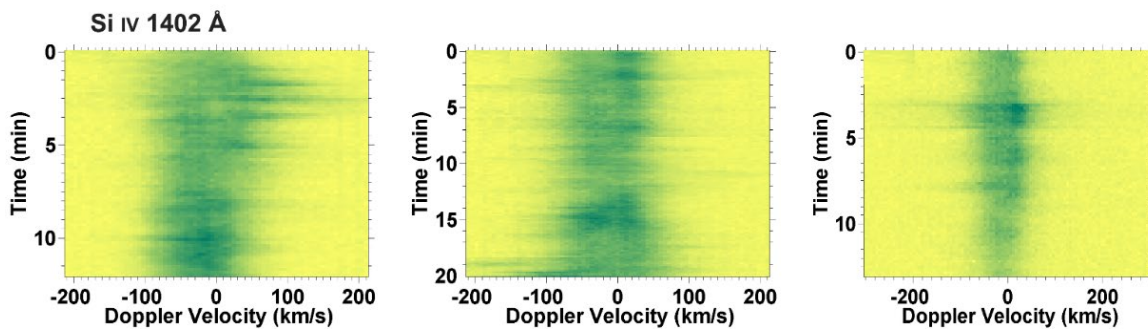
در شکل‌های ۲۲ و ۲۴ هم نمونه‌هایی از پروفایل‌های خط طیفی Si IV به ترتیب برای نقاط درخشان داخل شبکه و روی شبکه دیده می‌شوند. تصاویر سمت چپ و راست به ترتیب برازش گاوسی مرتبه اول و دوم پروفایل‌ها بوده و به صورت تابعی از سرعت رسم شده‌اند. منحنی‌های زرد رنگ پروفایل‌های اصلی طیف و منحنی‌های سبز رنگ برازش گاوسی آن‌ها می‌باشند. در پروفایل‌هایی که عدم تقارن مشاهده می‌شود و از ویژگی‌های خطوط طیفی ناحیه انتقال است، از برازش مرتبه دوم گاوسی استفاده می‌کنیم (کایشاپ و همکاران ۲۰۱۸b، حسینی و همکاران ۲۰۲۴).



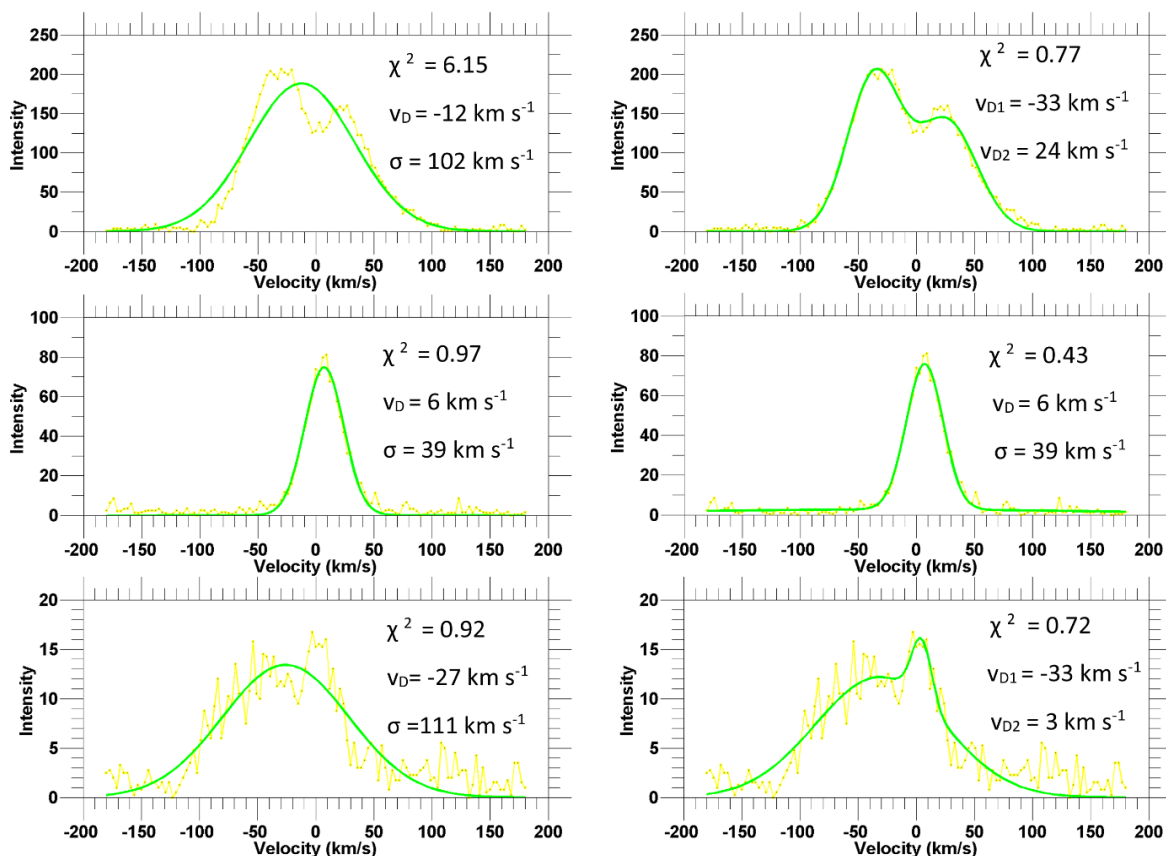
شکل ۲۱. تحول زمانی طیف Si IV (۱۴۰۲ آنگستروم) برای سه نقطه درخشان در داخل شبکه. محور افقی سرعت دوپلری و محور قائم زمان را نشان می‌دهد. در طی زمان پیشرفت‌هایی به سمت آبی و قرمز طیف دیده می‌شود.



شکل ۲۲. نمونه‌هایی از پروفایل‌های خط طیفی Si IV برای نقاط درخشان داخل شبکه. شکل‌های چپ و راست به ترتیب برازش گاوسی مرتبه اول و دوم بوده که به صورت تابعی از سرعت رسم شده‌اند. منحنی‌های زرد رنگ پروفایل‌های اصلی طیف و منحنی‌های سبز رنگ برازش گاوسی آن‌ها را نشان می‌دهد. بر روی نمودارها مقادیر نیکویی برازش، عرض پروفایل برحسب کیلومتر بر ثانیه و سرعت دوپلری برحسب کیلومتر بر ثانیه درج شده است. همان‌طور که دیده می‌شود مقدار نیکویی برازش در تمام منحنی‌های سمت راست کمتر از یک و بهینه می‌باشد.



شکل ۲۳. تحول زمانی طیف Si IV (۱۴۰۲ آنگستروم) برای سه نقطه درخشان بر روی مرز شبکه. محور افقی سرعت دوپلری و محور قائم زمان بر حسب دقیقه را نشان می‌دهد. در طی زمان پیشرفت‌هایی به سمت آبی و قرمز طیف دیده می‌شود که نشانه نوسانات این نقاط درخشان می‌باشد.



شکل ۲۴. نمونه‌هایی از پروفایل‌های خط طیفی Si IV برای نقاط درخشان روی شبکه. شکل‌های چپ و راست به ترتیب برازش گاوسی مرتبه اول و دوم را نشان می‌دهند که به صورت تابعی از سرعت رسم شده‌اند. برازش گاوسی مرتبه دوم در شکل‌های سمت راست بالایی و پایینی کاملاً محسوس بوده و دو قله طیف دیده می‌شود. منحنی‌های زرد رنگ پروفایل‌های اصلی طیف و منحنی‌های سبز رنگ برازش گاوسی آن‌ها هستند. بر روی نمودارها مقادیر نیکویی برازش، عرض پروفایل برحسب کیلومتر بر ثانیه و سرعت دوپلری بر حسب کیلومتر بر ثانیه درج شده است. همانطور که دیده می‌شود مقدار نیکویی برازش در منحنی‌های سمت راست عدد کوچکتر از یک و بهینه می‌باشد.

دارند.

کایشاپ و همکاران (۲۰۱۸)، با تحقیق بر روی خورشید آرام به این نتیجه رسیدند که منشا نوسانات ۳ دقیقه‌ای مشاهده شده بین رنگین سپهر و ناحیه انتقال به دلیل حرکات شیدسپهر است. آنها همچنین نشان دادند که نوساناتی با تناوب ۲/۵ تا ۶ دقیقه، از رنگین سپهر به ناحیه انتقال منتشر می‌شود. کایشاپ و همکاران (۲۰۲۰) نوسانات بالای یک ناحیه فعال پلاژ را روی دیسک خورشید مورد مطالعه قرار دادند و امواجی با دوره تناوب بین ۲ تا ۹ دقیقه که بین شیدسپهر و ناحیه انتقال منتشر می‌شد را آشکار کردند. ما سرعت دوپلری BP ها را حدود ۲۰- الی ۳۰ کیلومتر

۴ نتیجه‌گیری و بحث

نتایج تحلیل موجک نشان‌دهنده رفتار دوره‌ای با پیک‌های غالب سه دقیقه‌ای و پنج دقیقه‌ای است. نوسانات سه دقیقه‌ای که مشخصه‌های رنگین سپهر هستند در نقاط روشن شبکه قابل مشاهده هستند. در نمودارهای مربوط به نقاط روشن داخل شبکه، نوسانات پنج دقیقه‌ای بیشتر دیده می‌شود که مشخصه نوسانات فتوسفر است، اگرچه نوسانات سه دقیقه‌ای نیز مشهود بود. نوسانات سه و پنج دقیقه‌ای مربوط به p مدها است که به معنای حرکات کشش فشاری مربوط به فشار همرفتی است. نوسانات سه دقیقه‌ای منشا رنگین سپهر و نوسانات پنج دقیقه‌ای منشاء فوتوسفری

بر ثانیه تعیین کردیم. توایی و کوچمی (۲۰۱۹) با استفاده از مشاهدات IRIS، خواص دینامیکی مواد اسپیکول‌ها را در خارج از دیسک خورشید مورد مطالعه قرار دادند و پیشنهاد کردند که این ساختارها دارای حرکات چرخشی و نوسانی سریع، با تغییرات دوپلری با پیچ و تاب با حداکثر مقدار ۵۰ کیلومتر بر ثانیه در ناحیه حفره تاجی قطبی، تا ارتفاع ۲/۲ مگا متر بود. آنها برای اولین بار امواجی را با زمان تناوب ۱۰۰ ثانیه و دامنه‌هایی در حد ۳۰ کیلومتر بر ثانیه با علامت قطعی امواج آلفون شناسایی کردند. بر اساس مشاهدات سری‌های زمانی لبه‌ی خورشیدی که با تلسکوپ اپتیکی خورشیدی (SOT) روی هیندو، در فیلتر پهن کلسیم ۲ هیدروژن گرفته شده‌اند، دی پونیتو و همکارانش (۲۰۰۷) پیشنهاد کردند که سیخک‌ها را می‌توان به دو گروه، به نام‌های گروه ۱ و گروه ۲، دسته‌بندی کرد که به نظر می‌رسد ویژگی‌ها و مکانیزم‌های شکل‌گیری متفاوتی دارند. منشأ سیخک‌هایی با بقای کوتاه مدت و با سرعت زیاد (نوع ۲) به اتصال مجدد میدان مغناطیسی نسبت داده شده‌است. از سوی دیگر، منشأ سیخک‌های نوع ۱، که سیخک‌های کلاسیک (طول عمر بلند مدت و سرعت کم) هستند، به نظر می‌رسد که وابسته به پراکندگی مدهای p به جو بالایی و ایجاد متعاقب تلاطم‌ها است که از خطوط میدان مغناطیسی تبعیت می‌کنند. با این که سیخک‌ها در همه جای لبه وجود دارند، همچنان بحث در مورد همتای آن‌ها روی دیسک خورشیدی وجود دارد.

نوسانات تصادفی از خواص دیگر فضای داخلی شبکه‌های مختلف است. با توجه به نمودارهای آنالیز موجکی در تحقیق ما پیک‌های سه دقیقه‌ای کاملاً واضح دیده می‌شوند. پیک‌های سه دقیقه رنگین‌سپهر و پنج دقیقه‌ای که در این آنالیزها دیده شد، نشان می‌دهد که نقاط روشن در نظر گرفته شده از نوع مدهای p هستند که به معنی مد فشاری است. در نوسانات سه دقیقه‌ای منشأ رنگین‌سپهر و در پنج دقیقه‌ای منشأ فتوسفری است. عامل

p مدها (نوسانات ۵ دقیقه‌ای) نیروهای فشاری و عامل g مدها (نوسانات بیش از ۱۰ دقیقه) نیروهای گرانشی می‌باشند. فرکانس قطع برای p مدها کمتر از ۱۸۰ ثانیه است. یعنی فقط امواج کمتر از ۱۸۰ ثانیه می‌توانند به لایه‌های بالاتر نفوذ کنند. دپنتیو در سال ۲۰۰۴ ادعا کرد که گرما و چگالی زیاد مواد در داخل اسپیکول‌ها و از همه مهم‌تر کج بودن آنها باعث بالا رفتن فرکانس قطع انتشار امواج در داخل آنها می‌شود، بطوری که حتی امواج با دوره تناوب ۵ دقیقه نیز می‌توانند منتشر شوند. کج بودن میدان مغناطیسی موجب نفوذ نوسانات با فرکانس پایین تا ارتفاعات رنگین‌سپهر خواهد شد. نتیجه مشاهدات این است که نوسانات نقاط درخشان نشان می‌دهد که این نقاط چشمه‌هایی با عمر کوتاه پلاسمایی هستند که از رنگین‌سپهر یا جو پایین‌تر خورشید منشأ می‌گیرند. حسینی و همکاران (۲۰۲۴) عدم تقارن در خطوط طیفی Si IV (۷۵/۱۳۹۳ آنگستروم) منطقه انتقال را با استفاده از سه سری زمانی طیف نگار IRIS، داده‌های AIA و HMI بررسی کردند. اکثر پروفایل‌های نامتقارن در مناطقی که دارای میدان مغناطیسی پیچیده در شبکه‌ها بود مشاهده شدند. پروفایل‌های نامتقارن با هر دو مدل گاوسی مرتبه اول و مرتبه دوم توسط آنها مورد واکاوی قرار گرفت. آنها مقدار میانگین سرعت دوپلری تقریباً صفر را در ناحیه خورشید آرام بدست آوردند، در حالی که میانگین سرعت دوپلری را با برازش گاوسی مرتبه دوم در BPs در حدود ۴ کیلومتر بر ثانیه بدست آوردند (جابجایی قرمز) و همچنین نتایج آنها نشان داد که سرعت‌های غیرحرارتی گاوسی مرتبه دوم در هر سه ناحیه کمی بیشتر از گاوسی مرتبه اول بود.

منابع

- Alipour, N., Mohammadi, F., & Safari, H. (2019). Prediction of Flares within 10 Days before They Occur on the Sun. *ApJS*, 243, 20, <https://doi.org/10.3847/1538-4365/ab289b>

- Propagation of waves above a plage as observed by IRIS and SDO. *Astron. Astrophys.* 634, A63, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201936070>.
- Kayshap P., Srivastava A. K., Tiwari S. K., Jeli'nek P., Mathioudakis, M. (2018). Vertical propagation of acoustic waves in the solar internetwork as observed by IRIS. *MNRAS*, 479, 5512, <https://doi.org/10.1093/mnras/sty1861>.
- Parker, E. (1958). Interaction of the Solar Wind with the Geomagnetic Field. *PhFl*, 1, 171, <https://doi.org/10.1063/1.1724339>.
- Roberts, W. O. (1945), A Preliminary Report on Chromospheric Spicules of Extremely Short Lifetime. *ApJ*, 101, <https://doi.org/10.1086/144699>
- Riethmuller, T. L., Solanki S. K., Van Noort M., Tiwari S. K. (2013). Vertical flows and mass flux balance of sunspot umbral dots *Astron. Astrophys.* 554, 5, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201321075>
- Rutten, R.J., (2007), Chromospheric and Transition-Region Dynamics in Plage in Coimbra Solar Physics Meeting on the Physics of Chromospheric Plasmas, ASP Conference Series, 354, 282, ed. P. Heinzel, I. Dorotovic, R.J. Rutten, in press (also at astro-ph/0701379)
- Shokri, Z., et al. Synchronization of Small-scale Magnetic Features, Blinkers, and Coronal Bright Points, 2022, <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac4265>.
- Torrence, C., Compo, G. P. (1998), *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 79, 61, <https://doi.org/10.1175/1520-0477>
- Tavabi, E., Koutchmy, S., Ajabshirizadeh, A. (2011a). A statistical analysis of the SOT-Hinode observations of solar spicules and their wave-like behavior. *New Astron.*, 16, 296, <https://doi.org/10.1016/j.newast.2010.11.005>.
- Tavabi, E., Koutchmy, S., Ajabshirizadeh A. (2011b). Contribution to the modeling of solar spicules. *Adv. Space Res.*, 47, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2011.01.023>.
- Sterling H. C. (2000) Solar Phys. Solar Spicules: A Review of Recent Models and Targets for Future Observations (Invited Review). 196, 79, <https://doi.org/10.1023/A:1005213923962>.
- Taran, S., Safari, H., and Daei, F. (2019). KAPPA-MAXWELLIAN ELECTRONS AND BI-MAXWELLIAN PROTONS IN A TWO-FLUID MODEL FOR FAST SOLAR WIND., *The Astrophysical Journal*, 882, 2, article id.
- Aschwanden M. J. (2001). An Evaluation of Coronal Heating Models for Active Regions Based on Yohkoh, SOHO, and TRACE Observations. *Astrophys. J.* 560, 1035, <https://doi.org/10.1086/323064>
- Bloomfield D. S., McAteer R. T. J., Lites B. W., Judge P. G., Mathioudakis M., Keenan F. P. (2004). Wavelet Phase Coherence Analysis: Application to a Quiet-Sun Magnetic Element *Astrophys. J.* 617, 623, <https://doi.org/10.1086/425300>
- Borovsky, J. E., & Funsten, H. O. (2003). MHD turbulence in the Earth's plasma sheet: Dynamics, dissipation, and driving. *JGRA*, 108, 1246, <https://doi.org/10.1029/2002JA009625>
- Cranmer, S. R., Gibson, S. E., & Riley, P. (2017). Origins of the Ambient Solar Wind: Implications for Space Weather. *SSRv*, 212, 1345, <https://doi.org/10.1007/s11214-017-0416-y>.
- De Pontieu, B., et al. (2014). The Interface Region Imaging Spectrograph (IRIS) , *Solar Physics*, 289, 2733-2779, <https://doi.org/10.1007/s11207-014-0485-y>
- De Pontieu, B., et al. (2012). UBIQUITOUS TORSIONAL MOTIONS IN TYPE II SPICULES, *The Astrophysical Journal Letters*. 752:L12, <https://doi.org/10.1088/2041-8205/752/1/L12>.
- De Pontieu, B., Erdélyi, R., James, S. P. (2004), Solar chromospheric spicules from the leakage of photospheric oscillations and flows. *Nature* 430, 536. <https://doi.org/10.1038/nature02749>.
- De pontieu, B., Mcintosh, S., et al. (2007), A Tale of Two Spicules: The Impact of Spicules on the Magnetic Chromosphere. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 59, SP3, S655-S662. <https://doi.org/10.1093/pasj/59.sp3.S655>.
- Farhang, N., Safari, H., & Wheatland, M. S. (2018). Principle of Minimum Energy in Magnetic Reconnection in a Self-organized Critical Model for Solar Flares. *ApJ*, 859, 41, <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aac01b>
- Gary, S. P., & Karimabadi, H. (2006). Linear theory of electron temperature anisotropy instabilities: Whistler, mirror, and Weibel. *JGRA*, 111, A11. <https://doi.org/10.1029/2006JA011764>
- Kayshap P. , Tripathi D., Solanki S. K., Peter H., (2018b), *ApJ* , 864, 21, <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aad2d9>
- Kayshap, P., Murawski, K., Srivastava, A. K., Musielak, Z E., Dwivedi, B. N. (2020).

- 157, 12. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab372b>
- Tavabi E. (2018). Synchronized observations of bright points from the solar photosphere to the corona *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 476, 868, <https://doi.org/10.1093/mnras/sty020>.
- Tavabi E., Koutchmy S. (2019). Chromospheric Peculiar Off-limb Dynamical Events from IRIS Observations. *ApJ.*, 883, 41. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab3730>.
- Tavabi, E. (2014), On vortex motion in chromospheric network boundaries, *Ap&SS*, 350, 489. <https://doi.org/10.1007/s10509-014-1807-0>.
- Tavabi, E., Koutchmy, S. and Ajabshirizadeh, A. (2015), Limb events brightenings and fast ejection using IRIS Mission Observation, *Sol. Phys.* <https://doi.org/10.1007/s11207-015-0771-3>.
- Tavabi, E., (2014), power spectrum analysis of limb and disk spicule using hinode Ca H line broadband filter, *Ap&SS*, 352, 43. <https://doi.org/10.1007/s10509-014-1901-3>.
- Tavabi, E., Koutchmy, S., et al.(2015). Alfvénic waves in polar spicules *Astron. Astrophys.* 573, 7. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201423385>
- Tavabi, E., Zeighami, S., & Heydari, M. (2022). Dynamics of Explosive Events Observed by the Interface Region Imaging Spectrograph. *SoPh*, 297, 76. <https://doi.org/10.1007/s11207-022-01990-x>
- Hosseini, R., Kayshap, P., Alipour, A., Safari, H., Asymmetry of the spectral lines of the coronal hole and quiet Sun in the transition region, (2024). *MNRAS*, 529, 3424, <https://doi.org/10.1093/mnras/stae356>
- Uchida, Y. (1969), A Mechanism for the Acceleration of Solar Chromospheric Spicules. *Publ. Astron. Soc. Japan*, 21, 128.
- Young, D. T., Balsiger, H., & Geiss, J. (1982). Correlations of magnetospheric ion composition with geomagnetic and solar activity. *JGR*, 87, 9077, <https://doi.org/10.1029/JA087iA11p09077>.
- Zeighami, S., Tavabi, E., Amirkhanlou, E. (2020). Waves propagation in network and inter-network bright points channels between the chromosphere and Transition regions with IRIS observations. *J. Astrophys. Astron.* 36, 307. <https://doi.org/10.1007/s12036-020-09633-y>
- <http://iris.lmsal.com/operations.html>

Periodic behavior of fast small-scale brightening on the solar disk

Sima Zeighami^{1*}, Ehsan Tavabi² and Elnaz Amirkhanlou³

¹ Assistant Professor, Department of Physics, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

² Associate Professor, Physics Department, Payame Noor University, Tehran, Iran

³ M.Sc., Physics Department, Payame Noor University, Zanjan, Iran

(Received: 27 March 2024, Accepted: 13 June 2024)

Summary

A distinct difference is seen between different parts of the solar chromosphere, including the bright points (BPs) at the boundary and within the network, and the darker regions formed the interior of the granules. In the photosphere, apart from sunspots and holes, there are direct and concentrated magnetic fields in the form of small flux tubes with fields of 1 to 2 kG. Chromospheric networks are highly dynamic regions with fine structures embedded in the magnetic flux. These structures are located inside the cell network and there are also many small and dark cells around it. BPs can be thought of as trails of spicules through which mass and energy from the lower layers of the Sun are transported to the corona as the solar wind. Although in the last two decades, despite high-resolution observations and theoretical advances, effective steps have been taken to determine dynamics of BPs and various thermodynamic parameters such as temperature and density, but the mechanisms responsible for their formation are still unknown. These ambiguities are due to the difference in their appearance as a result of observation at different spectral lines and wavelengths. In terms of their dimensions, lifetimes and physical conditions, there is indirect evidence that there is a relationship between the identity of spicules and BPs of the chromospheric network, which can be attributed to the position of the magnetic field around the points. BPs form smaller or larger groups that, due to their specific morphology, carry plasma flux tubes to the magnetic corona. The flow behavior along BPs and spikes is a debatable issue. However, observations of the contents of the sticks show periodic up and down movements. In this research, using images of the solar disc extracted by the IRIS space telescope, we investigate the periodic behavior of fast brightening on a small scale. By analyzing the movements of these points using the wavelet method, one can understand their periodicity. Examining these points in wavelengths of 1400, 1330, 2796 Å to the real identity and the effect of these points on the reactions obtained by the sun. The bright points of the grid are arranged for the light grains visible in the filters and in the roughly cellular designs that form the boundaries of the grid. According to the graphs of wavelet analysis, the three-minute peaks are quite clear. The 3-minute and 5-minute chromospheric peaks seen in these analyzes show that the considered bright points are P modes, which means compression mode. In the three-minute oscillations, the origin is chromospheric, and in the five-minute oscillations, the origin is photosphere. Origin of the p modes is (5-minute fluctuations) compressive forces. Spectral images were used to obtain Doppler velocities and these velocities were calculated as -20 to 30 km^{-1} . The results of this study suggested that these bright points are short-lived sources of plasma that originate from the chromosphere or the lower atmosphere of the Sun.

Keywords: Bright points, chromosphere, network, IRIS, wavelet