

## مورفولوژی نوسانی نقاط درخشان مغناطیسی خورشید

احسان توایی<sup>۱</sup> و سیما ضیغمی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

(دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶)

### چکیده

در این تحقیق، با استفاده از سری زمانی گرفته شده توسط تلسکوپ آیریس نقاط درخشان نواحی مختلف دیسک خورشید در  $C II, Si$  خط طیفی  $IV, Mg II h, k$  (۱۳۳۰، ۱۴۰۰، ۲۷۹۶ و ۲۸۳۲ آنگستروم) بررسی می‌شوند. تصور می‌شود که انرژی مورد نیاز برای گرم کردن تاج خورشیدی توسط جریان‌های بسیار متلاطم لایه همرفتی واقع در زیر شیدسپهر تأمین می‌شود. هدف از این تحقیق پی بردن به مورفولوژی نوسانی نقاط درخشان در نواحی مرز شبکه و میان شبکه‌ای می‌باشد. نتایج نمودارهای شدت-زمان در سه طول موج ذکر شده، هم‌دوسی نوسانات را به وضوح نشان می‌دهد که دلیل آن می‌تواند مشترک بودن منشا این نوسانات باشد. همچنین تحلیل موجک نوسانات شدت، نشان داد که زمان تناوب غالب نوسانات در محدوده ۲/۵ الی ۱۲ دقیقه می‌باشد. همچنین برای بررسی سرعت انتشار موج در این لایه‌ها، همبستگی نوسانات بین رنگین سپهر و ناحیه انتقال مورد تحقیق قرار گرفت. با توجه به اختلاف ارتفاع لایه رنگین سپهر و ناحیه انتقال و تاخیر زمانی بدست آمده از نوسانات شدت بین دو لایه مذکور، سرعت موج با مقدار تقریبی ۱۵۰ کیلومتر بر ثانیه تعیین شد. بررسی تصاویر گرفته شده نشان می‌دهد که سرچشمه آنها در نقاط روشن رنگین سپهر نهفته است. بسیاری از نقاط درخشان به درجه حرارت حداقل  $10^5$  کلوین می‌رسند و بخش مهمی از ساختار منطقه انتقال را تشکیل می‌دهند. آن‌ها به احتمال زیاد یک منبع متناوب اما مداوم از جرم و انرژی برای باد خورشیدی هستند.

**کلید واژه:** خورشید، رنگین سپهر، نقاط روشن شبکه و بین شبکه، سرعت موج

## ۱ مقدمه

خورشید آرام وقتی در لایه‌های رنگین‌سپهری مشاهده می‌شود، نقاط روشن مغناطیسی (MBPs) یا شبکه مغناطیسی در روزت‌های سلول‌های ابردانه‌ای به‌وضوح دیده می‌شود (دان و زیرکر ۱۹۷۳؛ توابی ۲۰۱۴). این نقاط ممکن است به‌طور قطع با عناصر نقاط روشن فوتوسفر ارتباطی نداشته باشند (مولر و همکاران ۲۰۰۰). سیمون و لیتون (۱۹۶۴) با استفاده از اسپکتروهلیموگرام، دوپلرگرام و مگنتوگرام، به یک همبستگی قوی بین طرح‌های مغناطیسی شبکه رنگین‌سپهر و فرآیند ابردانه‌ای خورشید آرام دست یافتند، اما برهمکنش بین میدان مغناطیسی در شبکه (۱۳ کیلو گاوس) و جریان دینامیکی در مرز این ابر سلول‌ها از نظر تئوری ایجاد نشده و چندین ناسازگاری بین فرآیند ابردانه‌ای و شبکه مغناطیسی گزارش شده است (اسنودگریس و اولریش ۱۹۹۰). امروزه، این رابطه تقریباً پذیرفته شده است، و نشان می‌دهد که تشکیل شبکه مغناطیسی به شدت با جریان‌های ابردانه‌ای مرتبط است (رودیر و همکاران ۲۰۰۹).

تصور می‌شود که انرژی مورد نیاز برای گرم کردن تاج خورشیدی توسط جریان‌های بسیار متلاطم لایه همرفتی واقع در زیر شیدسپهر تأمین می‌شود، که برای توضیح این فرآیند دو نوع مکانیسم پیشنهاد شده است. مکانیسم اول شامل گرمایش از طریق امواج است، مثل تشکیل امواج صوتی، امواج گرانشی و امواج هیدرودینامیکی مغناطیسی که به دلیل وجود جریان‌های آشفتنه و متلاطم ظاهر می‌شوند (صبری و همکاران ۲۰۱۸، ۲۰۱۹، ۲۰۲۰). این امواج پس از تولید بالا رفته و با برخورد به تاج خورشیدی می‌پاشند و انرژی را به صورت انرژی حرارتی آزاد می‌کنند. سازوکار دوم شامل گرمایش مغناطیسی است که در آن انرژی مغناطیسی به طور مداوم توسط جریان‌های شیدسپهر ایجاد می‌شود و به صورت شارها و شعله‌های عظیم خورشیدی به سمت مناطق مغناطیسی و لکه‌های خورشیدی آزاد می‌شود.

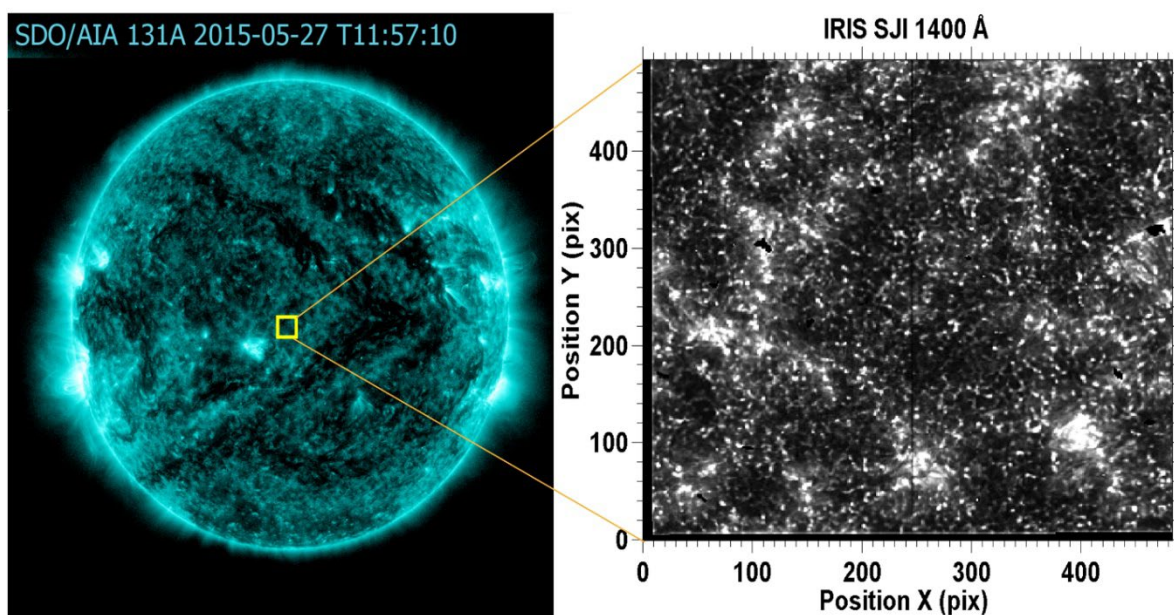
روزت‌های ابردانه‌ای معمولاً چندین MBP آشکار با شدت میدان مغناطیسی بالا را نشان می‌دهند در حالی که نقاط روشن داخل شبکه به میدان‌های مغناطیسی بسیار ضعیف‌تر مرتبط هستند (زیرین ۱۹۹۳؛ کلر ۱۹۹۲). مورفولوژی و جابجایی MBP ها را می‌توان به دلیل تلاطم همرفت ناشی از جریان‌های ابردانه‌ای از مرکز به لبه سلول توصیف کرد (لاورنس و شریجور ۱۹۹۳؛ جعفرزاده و همکاران ۲۰۱۴). سلول‌های تاجی مشاهده در خط طیفی ۱۷۱، ۱۹۳ و ۳۰۴ آنگستروم بر روی عناصر شبکه پیشرفته مناطق بزرگ متمرکز شده‌اند و هیچ دلیلی برای ارتباط آنها با مناطق درون شبکه‌ای یافت نشده است (هاگنار و همکاران ۱۹۹۷). هاگنار و همکاران (۱۹۹۷) الگوهای سلولی شبکه ابردانه‌ای را بررسی کردند و مدل آنها نشان داد که دامنه قدرت جریان خروجی در رنگین‌سپهر بالایی بسیار کوچک است. با استفاده از روش همبستگی عرضی بین مگنتوگرام و داپلرگرام، وانگ و زیرین (۱۹۸۹) تأیید کردند که مرزهای ابردانه‌ای و شبکه مغناطیسی تقریباً با هم همبستگی دارند و یک شاهد رصدی خوب برای رابطه بین ساختارهای مغناطیسی ابر دانه‌ای و سرعت‌های در امتداد خط دید (سرعت دوپلری) به‌دست آوردند. نقاط روشن تاجی (CBPs) با کمک پرتو ایکس و تلسکوپ‌های فرابنفش دور مشاهده شده‌اند (گلوب و همکاران ۱۹۷۴، هابال و ویترو ۱۹۸۱). صرف نظر از برخی غیر یکنواختی‌ها در عرض‌های جغرافیایی نوعاً برای مناطق فعال، توزیع CBP ها در مقیاس بزرگ، بر روی سطح خورشید یکنواخت است (گلوب و همکاران ۱۹۷۵). گلوب و همکاران (۱۹۷۷) دریافتند که تمام نقاط روشن تاجی در ناحیه طول موجی پرتو ایکس در مگنتوگرام‌ها به صورت طرح‌های دو قطبی ظاهر می‌شوند و فاصله جدایی دو قطبی‌ها با افزایش طول عمرشان افزایش می‌یابد. سرعت حرکت جدایی آنها از مرتبه ۲ کیلومتر بر ثانیه بوده و دارای یک شار مغناطیسی کلی، نوعاً به اندازه  $10^{19}$  تا  $10^{20}$  Mx، به ازای یک روز از طول عمرشان می‌باشند. همگرایی

عمده مشاهده کردند که ۵۲ درصد آنها با طول عمرهای نوعاً کوتاه کمتر از ۲۰ دقیقه و ۴۸ درصد باقی مانده با طول عمر طولانی ۶ ساعت مشاهده شد. شناسایی و ردیابی پایه‌های CBP برای درک منابع و خواص فیزیکی آنها ضروری به نظر می‌رسد.

در تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های تصویری فضایی آیریس مورفولوژی نقاط درخشان نواحی روی مرز و داخل شبکه خورشید را بررسی می‌کنیم. فضا پیمای آیریس مشاهدات از نواحی که تاکنون دسترسی به آن سخت بوده است را ممکن می‌کند. شناخت بهتر ناحیه انتقال به ما کمک می‌کند تا به اطلاعات بیشتری از لایه‌های مختلف خورشید و اثرات آن بر منظومه‌ی شمسی دست یابیم.

دوقطبی‌ها و حذف کامل عناصر مغناطیسی با قطبیت مخالف قبلاً گزارش شده است (کایشاپ و همکاران ۲۰۱۷). مجارسکا و همکاران (۲۰۰۳) دریافتند که برخی از CBPها از طریق همگرایی میدان‌های مغناطیسی دوقطبی تشکیل می‌شوند، در حالی که برخی دیگر از طریق یک میدان مغناطیسی جدید ظاهر می‌شوند.

کوچمی و همکاران (۱۹۹۷) شواهدی را برای رویدادهای درخشان در ناحیه طیفی پرتو ایکس نرم ارائه داده‌اند که به آنها فلاش‌های تاجی گفته می‌شود. این رویدادها دارای عمر کوتاهی هستند و می‌تواند با جت‌های پرتو ایکس مرتبط باشند. گلوب و همکاران (۱۹۷۹) دریافتند که CBP از چندین حلقه کوچک (هر یک با قطر تقریبی ۲۵ مگامتر و طول ۱۲ مگامتر) تشکیل شده‌اند. علیپور و صفری (۲۰۱۵) دو دسته اصلی از CBPها را با طول عمر



شکل ۱. شکل سمت چپ تصویر دیسک کامل خورشید است که در خط فیلتر ۱۳۱ آنگستروم دیده می‌شود که از رصدخانه دینامیک خورشید گرفته شده است (<https://sdo.gsfc.nasa.gov/data>). مربع زرد رنگ ناحیه‌ای است که توسط تلسکوپ آیریس تصویر برداری شده است. شکل سمت راست تصویر گرفته شده از آیریس را نشان می‌دهد (<http://iris.lmsal.com/search>).

## ۲ مشاهدات

در این تحقیق ابتدا تصاویر را از سایت IRIS استخراج گردید. مشاهدات آیریس دارای وضوح فضایی ۰/۳ الی ۰/۴ ثانیه کمانی با اندازه پیکسل ۰/۱۶۶ ثانیه کمانی مطابق با ۱۲۰ کیلومتر، رفتار دینامیکی رنگین سپهر و ساختارهای ظریف ناحیه انتقال را نشان می‌دهد (دی پونته و همکاران ۲۰۱۴). فاصله زمانی کم بین سکانس‌های تصاویر، امکان تجزیه و تحلیل دقیق این ساختارها را فراهم می‌کند و ما را قادر می‌سازد تا آنها را از شید سپهر تا تاج پایینی در سه کانال از خطوط طیفی مختلف، با طول موج ۲۷۹۶-۲۸۳۲ آنگستروم (خطوط Mg II h)، خطوط Ca II H و ۱۳۳۱-۱۳۸۹ آنگستروم (خطوط Si IV) دنبال نمود.

درجه تفکیک سرعت در طیف IRIS به اندازه ۰/۵ کیلومتر بر ثانیه است. علاوه بر این، تصاویر شکاف (SJ) با میدان دید ۱۲۰ در ۱۱۹ ثانیه کمانی در دسترس هستند (دیپونته و همکاران ۲۰۱۴). این منطقه در مرکز دیسک خورشیدی قرار دارد (شکل ۱)، جایی که منطقه خورشید آرام محسوب می‌شود و هیچ منطقه فعالی دیده نمی‌شود. این منطقه حفره تاجی نیست. با این حال، برخی از ساختارهای میدان مغناطیسی متمرکز می‌توانند در میدان دید وجود داشته باشند. شکل ۱ سمت چپ تصویر دیسک کامل خورشید گرفته شده از SDO/AIA را در فیلتر ۱۳۱ آنگستروم نشان می‌دهد. مربع زرد رنگ ناحیه‌ای است که توسط تلسکوپ آیریس تصویر برداری شده است. شکل سمت راست تصویر همزمان گرفته شده از تلسکوپ آیریس را در ۲۷ ماه می ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. کادنس تصاویر ۲۰ ثانیه و مجموعه داده‌ها شامل ۴ طول موج می‌باشد.

## ۳ آنالیز داده‌ها

پس از به دست آوردن تصاویر در ۴ طول موج ۱۳۳۰، ۱۴۰۰، ۲۷۹۶ و ۲۸۳۲ آنگستروم، سه ناحیه بین شبکه‌ای و سه ناحیه روی مرز شبکه انتخاب شدند. این نواحی انتخاب

شده در شکل ۲ با مربع‌های قرمز و سبز رنگ به ترتیب برای ناحیه بین شبکه‌ای و روی مرز شبکه نشان داده شده است. بعد از این مرحله شدت نقاط روشن این نواحی را محاسبه نموده و سیگنال‌های نوری بدست می‌آیند. شکل ۳ تغییرات شدت-زمان (سیگنال‌ها) مربوط به سه ناحیه بین شبکه‌ای (مربع‌های قرمز رنگ شکل ۲) و شکل ۴ هم تغییرات شدت-زمان (سیگنال‌ها) مربوط به سه ناحیه بر روی مرز شبکه (مربع‌های سبز رنگ شکل ۲) را نشان می‌دهند. این نمودارها به ترتیب برای ۴ فیلتر ۱۳۳۰، ۱۴۰۰، ۲۷۹۶ و ۲۸۳۲ آنگستروم رسم شده‌اند. همانطور که دیده می‌شود، بیشترین همدوسی نوسانات بین طول‌موج‌های ۱۳۳۰ و ۱۴۰۰ آنگستروم برقرار است.

با مقایسه شکل‌های ۳ و ۴ می‌توان مشاهده کرد که اختلاف شدت روشنایی در طول‌موج‌های مختلف در نواحی داخل شبکه نسبت به نواحی مرز شبکه‌ای کمتر است. این پدیده احتمالاً به دنبال باز ترکیب‌های مغناطیسی در نواحی مرز شبکه‌ای اتفاق می‌افتد.

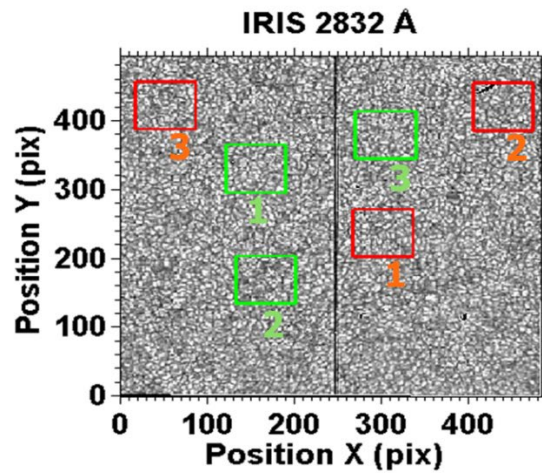
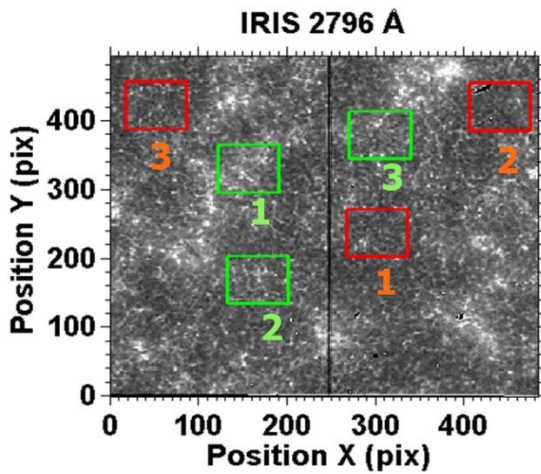
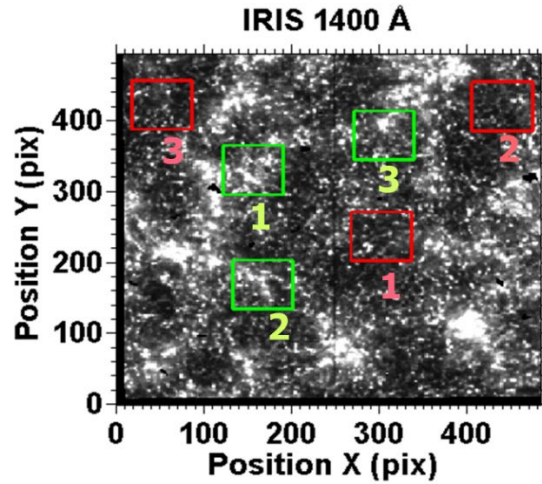
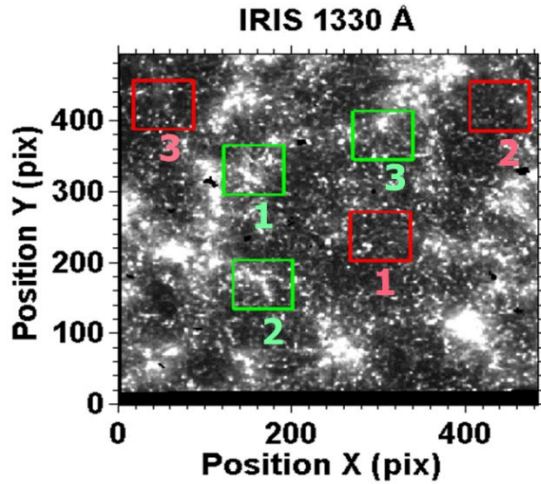
با استفاده از روش تحلیل موجک (تورنس و شامپو ۱۹۹۸)، دوره نوسانات شدت انتخاب شده در این نواحی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در روش تحلیل موجک سیگنال‌ها به دو فضای مکانی و زمانی تبدیل می‌شوند که برای ماهیت ذاتی ساختار خورشیدی بسیار مناسب هستند. یکی از ویژگی‌های مهم تحلیل موجک، شکل دلخواه است، به طوری که برای هر نوع ساختار، تابع موجک مناسب (تابع مادر) میتوان انتخاب نمود. تجزیه و تحلیل موجک مورد استفاده ما مورلت ۶ به صورت زیر می‌باشد:

$$\Psi(x) = ce^{-\frac{x^2}{2}} \cos(kx) \quad (1)$$

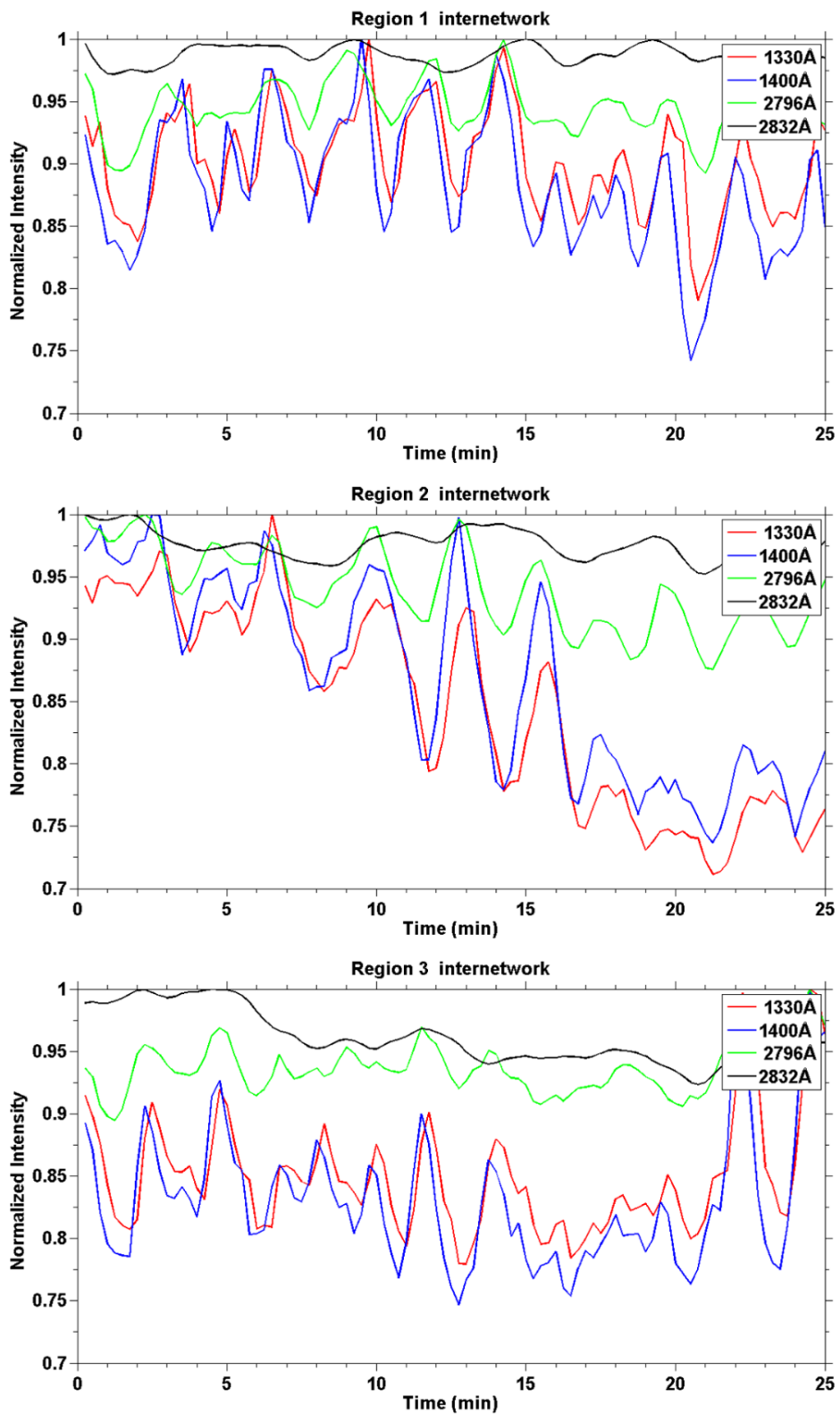
که در آن c ضریب ثابتی برای نرمالیزاسیون بوده و k نشان دهنده مرتبه یا تعداد پیک‌های نمودار مورلت است. تصاویر سمت چپ و راست در شکل ۵ به ترتیب طیف‌های توان موجک یک بعدی و دو بعدی را برای ناحیه اول درون

است. این را می توان به حلقه های بسته کوچک در مناطق مرز شبکه در لایه های پایین تر نسبت داد. همچنین نوسانات ۸ دقیقه ای نیز می تواند نشانه ای از مدهای گرانشی باشد.

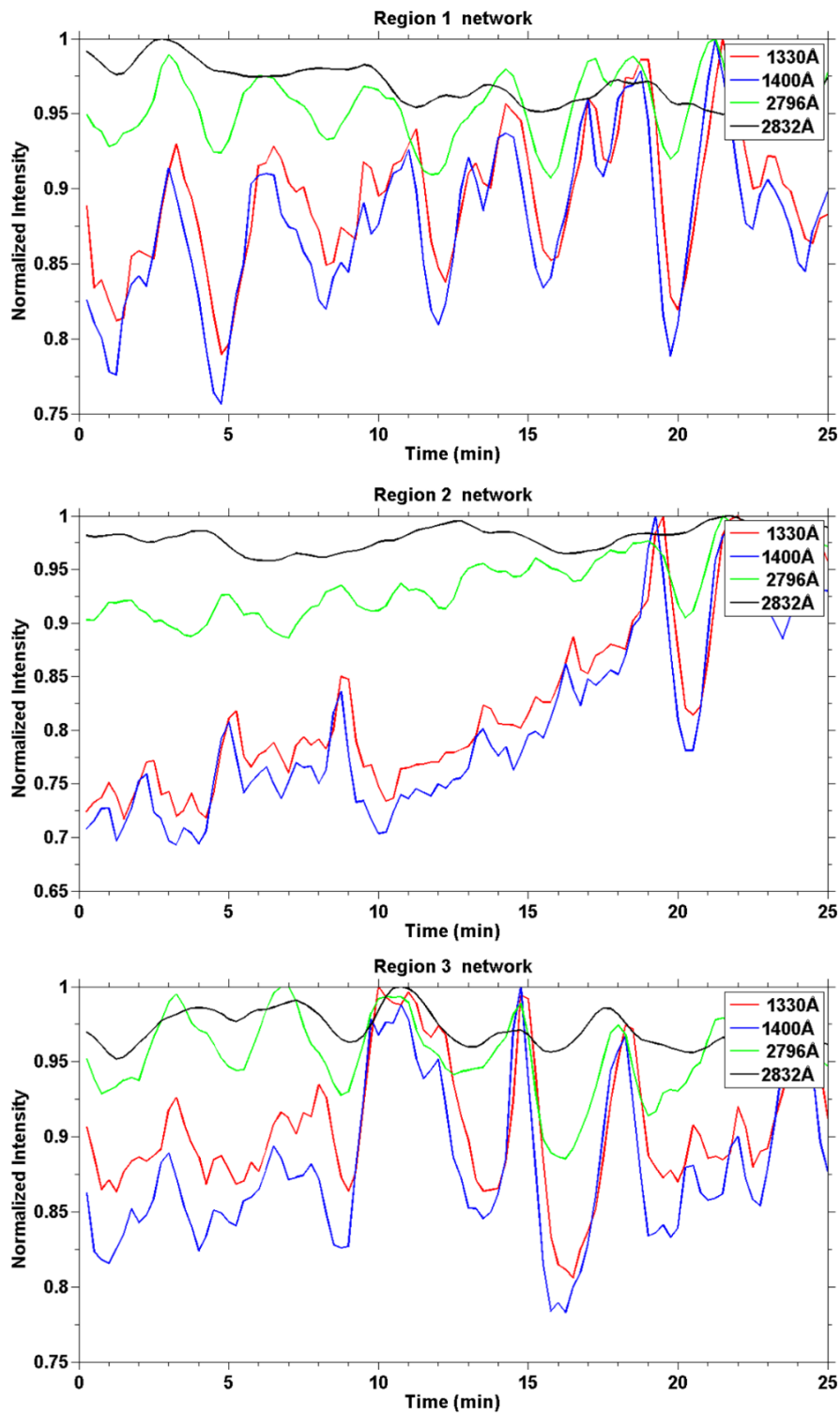
شبکه ای در فیلترهای ۱۳۳۰، ۱۴۰۰، ۲۷۹۶ آنگستروم نشان دیده می شود. در این شکل ها نوسانات مشترک ۳ و ۵ دقیقه ای قابل مشاهده هستند. علاوه بر این در یکی از نواحی درخشان روی مرز شبکه نوسانات ۸ دقیقه ای نیز ظاهر شده



شکل ۲. تصاویر گرفته شده از IRIS در تاریخ ۲۷ می ۲۰۱۵ به ازای طول موج های ۱۳۳۰، ۱۴۰۰، ۲۷۹۶ و ۲۸۳۲ آنگستروم. مربع های قرمز و سبز رنگ به ترتیب به نواحی داخل شبکه و روی شبکه اشاره میکند (<http://iris.lmsal.com/search>).



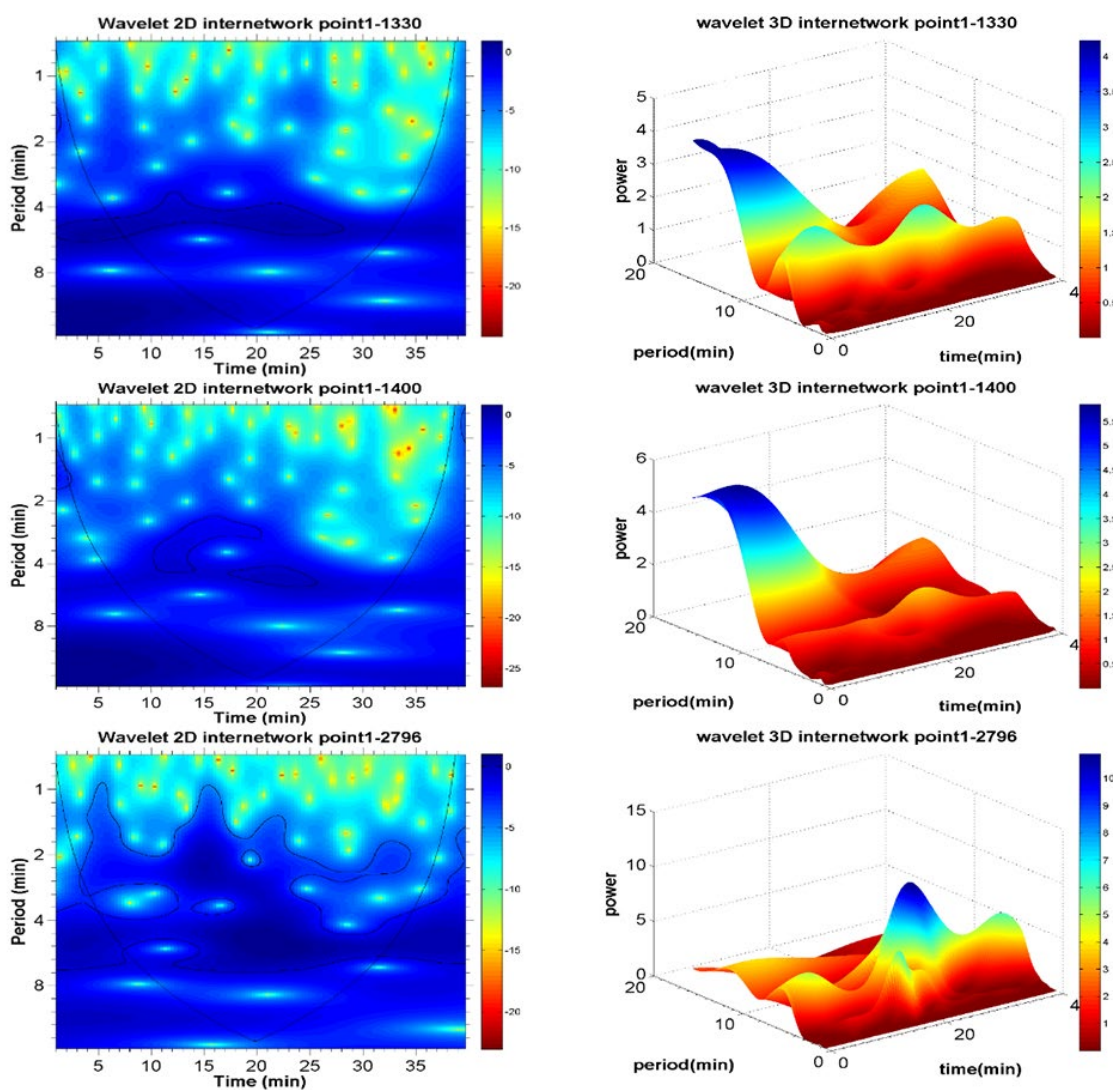
شکل ۳. تغییرات شدت- زمان (سیگنال‌ها) مربوط به سه ناحیه بین شبکه‌ای که در شکل ۲ با مربع‌های قرمز رنگ مشخص شده است. نمودارها به ترتیب برای ۴ فیلتر ۱۳۳۰، ۱۴۰۰، ۲۷۹۶ و ۲۸۳۲ آنگستروم رسم شده اند.



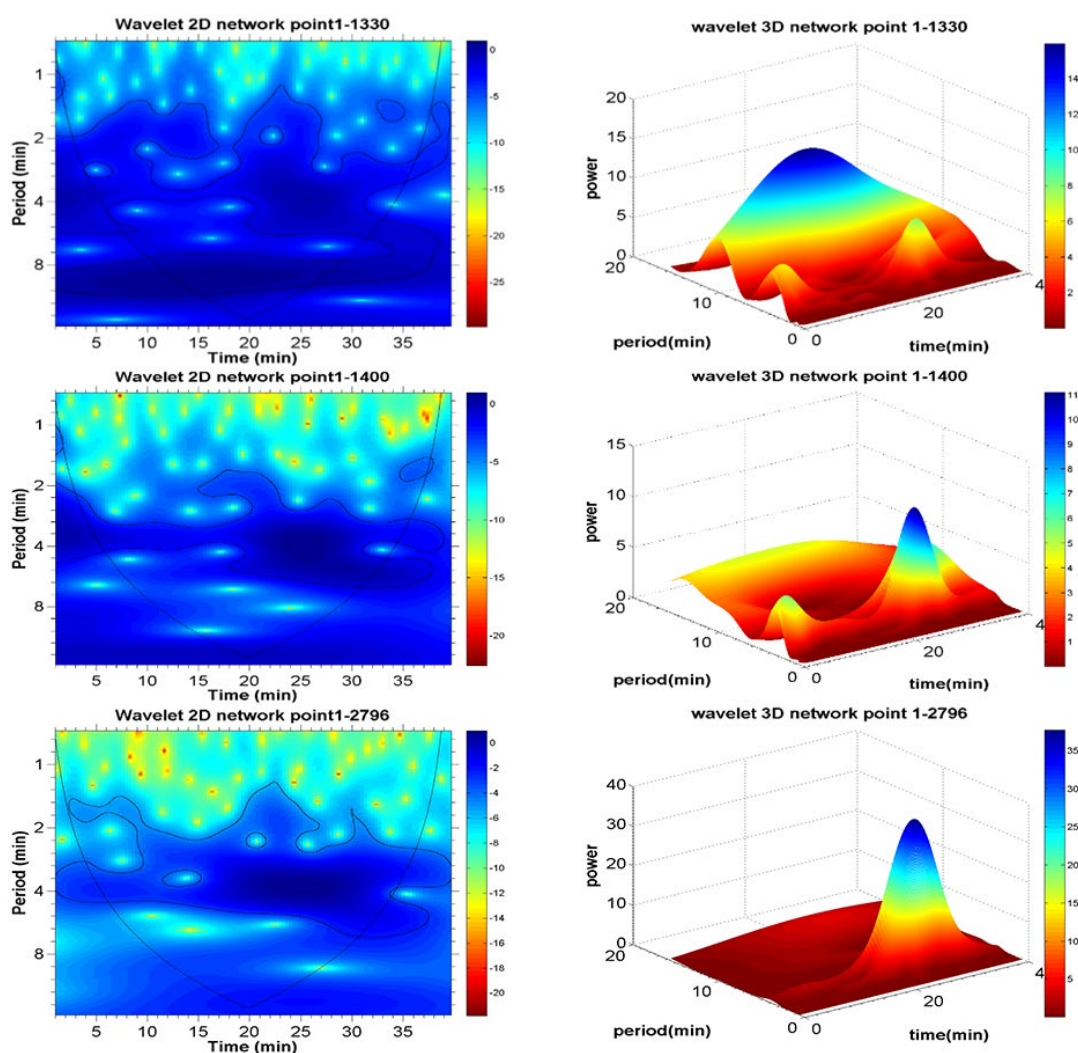
شکل ۴. تغییرات شدت- زمان در سه ناحیه واقع بر روی مرز شبکه مغناطیسی که در شکل ۲ با مربع‌های سبز رنگ مشخص شده است. نمودارها به ترتیب برای ۴ فیلتر ۱۳۳۰، ۱۴۰۰، ۲۷۹۶ و ۲۸۳۲ آنگستروم رسم شده‌اند.

آمده از منحنی نوسانات شدت بین دو لایه مذکور در هر یک از شکل‌های ۳ و ۴، از معادله  $v=H/T$  مقدار تقریبی سرعت موج به اندازه ۱۵۰ کیلومتر بر ثانیه تعیین شد. در این معادله  $v$  سرعت موج،  $H$  اختلاف ارتفاع و  $T$  تاخیر زمانی نوسانات شدت بین دو لایه مذکور است (ضیغمی و همکاران ۲۰۲۰).

بررسی تصاویر آیریس نشان می‌دهد که نقاط درخشان پر سرعت در چندین خطوط طیفی انتقالی و رنگین‌سپهر ظاهر شده به طوری که آنها ادامه حرکت خود را بعد از محو شدن در مناطق داغ سپری می‌کنند. با توجه به وجود اختلاف ارتفاع لایه رنگین‌سپهر و ناحیه انتقال به اندازه تقریبی ۲ مگامتر و میانگین تاخیر زمانی ۱۳/۳ ثانیه، بدست



شکل ۵. سمت چپ طیف‌های توان موجک دو بعدی برای ناحیه اول بین شبکه‌ای در فیلترهای ۱۳۳۰، ۱۴۰۰، ۲۷۹۶ آنگستروم می‌باشد. سمت راست طیف‌های توان موجک سه بعدی برای ناحیه اول داخل شبکه در فیلترهای ۱۳۳۰، ۱۴۰۰، ۲۷۹۶ آنگستروم را نشان می‌دهد. نوسانات غالب ۳ و ۵ دقیقه‌ای دیده می‌شوند.



شکل ۶. سمت چپ طیف‌های توان موجک دو بعدی برای ناحیه روی مرز شبکه در فیلترهای ۱۳۳۰، ۱۴۰۰، ۲۷۹۶ آنگستروم می‌باشد. سمت راست طیف‌های توان موجک سه بعدی برای ناحیه اول روی مرز شبکه در فیلترهای ۱۳۳۰، ۱۴۰۰، ۲۷۹۶ آنگستروم می‌باشد. نوسانات ۳ و ۵ و ۸ دقیقه‌ای دیده می‌شوند.

را به وضوح نشان داد. تحلیل موجک نوسانات شدت، نشان داد که زمان تناوب غالب نوسانات در محدوده ۲/۵ الی ۱۲ دقیقه می‌باشد. ما همچنین سرعت انتشار موج در این لایه‌ها را با توجه به همبستگی نوسانات بین لایه‌ها محاسبه نمودیم. با توجه به اختلاف ارتفاع لایه رنگین سپهر و ناحیه انتقال و تاخیر زمانی بدست آمده از نوسانات شدت بین دو لایه مذکور، مقدار سرعت موج به اندازه تقریبی ۱۵۰ کیلومتر بر ثانیه بدست آمد. نقاط روشن ناحیه مرز نسبت به نواحی بین شبکه‌ای درخشان تر بودند. این درخشندگی

#### ۴ نتایج و بحث

در این تحقیق مورفولوژی نوسانی ساختارهای درخشان نواحی میان شبکه‌ای و روی مرز شبکه مورد واکاوی قرار گرفت. با استفاده از سری زمانی گرفته شده توسط تلسکوپ آیریس نقاط درخشان نواحی مختلف دیسک خورشید در ۴ خط طیفی C II, Si IV, Mg II h and k (۱۳۳۰، ۱۴۰۰، ۲۷۹۶ و ۲۸۳۲ آنگستروم) بررسی گردید. به دلیل مشترک بودن منشا این نوسانات، نتایج نمودارهای شدت-زمان در سه طول موج ذکر شده، همدوسی نوسانات

و همکاران (۲۰۲۰) برای بررسی انتشار موج در لایه‌های رنگین سپهری و ناحیه انتقال همبستگی نوسانات شدت بین این لایه‌ها را بررسی کردند. آنها دریافتند که این ارتفاعات با زمان تناوبهایی بین ۲/۵ تا ۵/۵ دقیقه با سرعت موجی ۳۰ تا ۲۰۰ کیلومتر بر ثانیه همدوس هستند. همچنین آنها با استخراج خط طیفی Si IV، میانگین سرعت دوپلری نقاط درخشان را به اندازه ۲۰ کیلومتر بر ثانیه تخمین زدند. سطح قابل رویت و نورانی خورشید (فوتوسفر) دارای درجه حرارتی معادل با ۶۰۰۰ کلوین است. تاج خورشیدی با دمایی معادل با یک میلیون درجه کلوین قرار دارد. دمای بسیار بالای این منطقه نشان دهنده آن است که این ناحیه توسط منبع دیگری به غیر از گرمای گسیل شده از فوتوسفر تا این حد گرم می‌شود (دی پونته و همکاران ۲۰۰۷، تزیتسو ۲۰۰۳). این گونه تصور می‌شود که انرژی لازم برای گرم کردن تاج خورشید توسط جریان‌های بسیار متلاطم لایه همرفت که زیر فوتوسفر قرار دارد (هاگنار و همکاران ۱۹۹۹) تامین می‌شود که برای توجیه چگونگی آن دو نوع سازوکار متفاوت مطرح است. سازوکار اولی شامل گرمایشی موجی است و شکل‌گیری امواج صوتی، امواج گرانشی و امواج هیدرودینامیکی مغناطیسی در اثر وجود جریان‌های آشفته و متلاطم را شرح می‌دهد. این امواج پس از تولید به سمت بالا رفته و با برخورد به تاج خورشیدی باعث از هم پاشیدن و آزاد شدن انرژی به صورت انرژی گرمایی می‌شوند. سازوکار دوم شامل گرمایشی مغناطیسی است که در این سازوکار، انرژی مغناطیسی به‌طور متداوم توسط جریان‌های موجود در فوتوسفر ایجاد شده و به سمت نواحی مغناطیسی و لک‌های خورشیدی و در قالب شراره‌ها و شعله‌های بسیار عظیم خورشیدی رها می‌شود.

می‌تواند به دلیل میدان مغناطیسی بالا، دمای زیاد و افزایش چگالی پلاسما در این نواحی باشد. امواج الکترومغناطیس را می‌توان در تمام لایه‌های خورشید مشاهده کرد. این امواج بر روی رنگین سپهر و تاج خورشیدی تاثیر گذار است. نتیجه دانستن خواص آن علل داغ بودن تاج خورشید و تولید طوفان‌های خورشیدی است. با توجه به خواص مغناطیسی و میزان انرژی پتانسیلی که دارا هستند می‌توان به فرایندهای فیزیکی که در لایه‌های مختلف خورشید ایجاد می‌شود پی برد. انتظار می‌رود که نقاط درخشان که در داخل شبکه و بر روی مرز شبکه‌ها هستند توان این را داشته باشند که بین ناحیه انتقال و رنگین سپهر حرکت کنند (جعفرزاده و همکاران ۲۰۱۴). رنگین سپهر و منطقه انتقالی به عنوان رابط بین فوتوسفر و تاج خورشید، نقش کلیدی در شکل‌گیری و شتاب باد خورشیدی دارند. همچنین با بررسی نمودارهای شدت می‌توان به‌وضوح، همدوسی نوسانات را در آنها مشاهده نمود، بخصوص در سه طول موج ۱۳۳۰، ۱۴۰۰، و ۲۷۹۶ آنگستروم. این همدوسی می‌تواند به این دلیل باشد که منشا آنها مشترک بوده و بنابر این دوره تناوب‌های مشابه ایجاد می‌کنند. توایی (۲۰۱۸) با مقایسه نتایج شدت IRIS با تصاویر دوپلگرام‌های به دست آمده توسط AIA و تصاویر HMI نصب شده روی رصدخانه دینامیکی خورشیدی (SDO) نشان داد که همبستگی شدیدی با ساختارهای تاجی AIA وجود دارد و بیشتر تراکم شار در تقاطع چندین شبکه ظاهر می‌شود. کایشاپ و همکاران (۲۰۱۸)، با تحلیل نوسانات شدت در خورشید آرام نتیجه گرفتند که نوسانات ۳ دقیقه‌ای که بین رنگین سپهر و ناحیه انتقالی دیده می‌شود به دلیل نوسانات شیدسپهری است. آنها همچنین نشان دادند که نوسانات ۲/۵ تا ۶ دقیقه‌ای، از رنگین سپهر به ناحیه انتقالی منتشر می‌شود. کایشاپ و همکاران (۲۰۲۰) نوسانات بالای یک منطقه‌ای فعال را مورد مطالعه قرار داده و امواجی را با دوره بین ۲ تا ۹ دقیقه بین فوتوسفر و ناحیه انتقال شناسایی کردند. ضیغمی

## مراجع

- Alipour, N., Safari, H. (2015). *ApJ*, 807, 175
- 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*, SP3, S655-S662.
- Dunn, R. B., Zirker, J. B. (1973). *The Solar Filigree. Sol. Phys.*, 33, 281.
- Golub, L., Krieger, A. S., Silk, J. K., Timothy, A. F., Vaiana, G. S. (1974). *Solar X-Ray Bright Points. ApJ*, 189, L93.
- Golub, L., Krieger, A. S., Vaiana, G. S. (1975). Observation of a Non-Uniform Component in the Distribution of Coronal Bright Points. *Sol. Phys.*, 42, 131.
- Golub, L., Krieger, A. S., Harvey, J. W., Vaiana, G. S. (1977). Magnetic properties of X-ray bright points. *Sol. Phys.*, 53.
- Hagenaar, H.J., Schrijver, C.J., et.al. (1999). dispersal of magnetic flux in the quiet solar photosphere.
- Hagenaar, H. J., Schrijver, C. J., Title, A. M. (1997). *ApJ*, 481, 988
- Habbal, S. R., Withbroe, G. L. (1981). *Sol. Phys.*, 69, 77.
- Jafarzadeh, S., Cameron, R. H., Solanki, S. K., Pietarila, A., Feller, A., Lagg, A., Gandorfer, A. (2014). Migration of Ca II H bright points in the internetwork. *A&A*, 563, 101.
- Kayshap, P., Dwivedi, B. N. (2017). Diagnostics of Coronal Bright Points using IRIS, AIA, and HMI Observations. *Sol. Phys.*, 292, 108.
- Kayshap, P., Murawski, K., Srivastava, A. K., Musielak, Z E., Dwivedi, B. N. (2020). *Astron. Astrophys.* 634, A63, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201936070>
- Kayshap, P., Srivastava, A. K., Tiwari S. K., Jel'nek P., Mathioudakis, M. (2018). *MNRAS*, 479, 5512, <https://doi.org/10.1093/mnras/sty1861>.
- Keller, C. U. (1992). Resolution of magnetic flux tubes on the Sun. *Nature*, 359, 307
- Koutchmy, S., Hara, H., Suematsu, Y., Reardon, K. (1997). *SXR Coronal Flashes. A&A*, 320, L33.
- Lawrence, J. K., Schrijver, C. J. (1993). Anomalous Diffusion of Magnetic Elements across the Solar Surface. *ApJ*, 411, 402.
- Madjarska, M. S., Doyle, J. G., Teriaca, L., Banerjee, D. (2003). An EUV Bright Point as seen by SUMER, CDS, MDI and EIT on-board SoHO, *A&A*, 398, 775.
- Muller, R., Dollfus, A., Montagne, M., Moity, J., Vigneau, J. (2000). *A&A*, 359, 373.
- Roudier, T., Rieutord, M., Brito, D., Rincon, F., Malherbe, J. M., Meunier, N., Berger, T., Frank, Z. (2009). *A&A*, 495, 945.
- Sabri, S., Vasheghani Farahani, S., Ebadi, H., Hosseinpour, M and Fazel, Z. (2018). Alfvén wave dynamics at the neighborhood of a 2.5D magnetic null-point, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 479, Issue 4, 4991-4997.
- Sabri, S., Poedts, S., Ebadi, H. (2019). Plasma heating by magnetoacoustic wave propagation in the vicinity of a 2.5D magnetic null-point, *A&A*, 623, A81, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201834286>.
- Sabri, S, Ebadi, H., and Poedts, S. (2020). Plasmoids and Resulting Blobs due to the Interaction of magnetoacoustic Waves with a 2.5D Magnetic Null Point, *The Astrophysical Journal*, 902:11, <https://doi.org/10.3847/1538-4357/abb081>
- Sheeley, N. R., Golub, L. (1979). *Sol. Phys.*, 63, 119.
- Simon, G. W., Leighton, R. B. (1964). *ApJ*, 140, 1120.
- Snodgrass, H. B., Ulrich, R. K. (1990). *ApJ*, 351, 309.
- Tavabi, E. (2014). Power spectrum analysis of limb and disk spicule using Hinode Ca H-line broadband filter. *Ap&SS*, 352, 43.
- Tavabi, E., Koutchmy, S., Bazin, C. (2018). Analysis of a Failed Eclipse Plasma Ejection Using EUV Observations, *Sol. Phys*, 293, 42T.
- Tziotziou, K., Tsiropula, G., et al . (2003). On the nature of the chromospheric fine structure I. Dynamics of dark mottles and grains, 24 January.
- Wang, H., Zirin, H. (1989). *Sol. Phys.*, 120, 1111.
- Zeighami, S., Tavabi, E., Amirkhanlou, E. (2020). Waves propagation in network and internetwork 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>.
- Zirin, H., Ai, G., Wang, H., eds, *IAU Colloq.* (1993). 141, *The Magnetic and Velocity Fields of Solar Active Regions*, *Astronomy Society of the Pacific Conference Series Vol. 46*, *Astron. Soc. Pac.*, San Francisco, 1993. 215.

## Fluctuating morphology of the solar magnetic bright points

Ehsan Tavabi <sup>1</sup> and Sima Zeighami <sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Associate Professor, Physics Department, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Physics, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

(Received: 05 May 2024, Accepted: 27 August 2024)

### Summary

The solar corona has a temperature equivalent to one million degrees Kelvin. The very high temperature of this region indicates that this region is heated to this extent by a source other than the heat emitted from the photosphere. It is thought that the energy required to heat the solar corona is provided by the very turbulent flows of the convection layer located below the photosphere, which is proposed to explain how the two types of mechanisms are different. The first mechanism includes wave heating and describes the formation of sound waves, gravity waves and magnetic hydrodynamic waves due to the presence of turbulent and turbulent currents. After being produced, these waves go up and when they hit the solar corona, they disintegrate and release energy in the form of thermal energy. The second mechanism includes magnetic heating, in which magnetic energy is continuously created by the currents in the photosphere and is released towards magnetic regions and sunspots in the form of flares and huge solar flares. In this research, using the time series taken by the IRIS telescope, different regions of the solar disk in 4 filters C II, Si IV, Mg II h and k (1330, 1400, 2796 and 2832 Å) are investigated. The morphology and displacement of magnetic bright points can be described as convective turbulence caused by super-granular flows from the center to the edge. The purpose of this research is to find out the fluctuating morphology of the bright points in the border regions of the network and inside the network. The intensity-time graphs clearly show the coherence of the fluctuations, which is because of the common origin of these fluctuations, which are created with similar periods. Also, the wavelet analysis of intensity fluctuations showed that the frequency of fluctuations is from 2.5 to 12 minutes. Also, to investigate the wave propagation in these layers, the correlation between the chromosphere and the transition region was investigated. Due to the difference in the height of the chromosphere layer and the transition region, and the time delay obtained from the intensity fluctuations between the two mentioned layers, the wave speed was determined with an approximate value of 150 km s<sup>-1</sup>. Examining the captured images shows that their source lies in the bright points of the chromosphere. Many jets reach a temperature of at least 10<sup>5</sup> K and form an important part of the transition region structure. They are likely an intermittent but continuous source of mass and energy for the solar wind.

**Keywords:** The Sun, chromosphere, network and internetwork bright points, wave speed