

Research Paper

Two-dimensional Analysis of the Bright Points Velocity in the Solar Transition Region with the Local Correlation Tracking Method¹

Ehsan Tavabi², Masoumeh Tareh³ and Sima Zeighami^{*4}

Received: 2024.01.25

Revised: 2024.04.01

Accepted: 2024.05.18

Abstract

Our knowledge about the origin and transformation mechanisms of the bright points in the solar network has a significant role in understanding the ejection of materials and the transfer of energy into the solar corona. Outside the active region of the Sun (AR), although it is called the Quiet Sun (QS), various types of small-scale bright phenomena constantly occur within the boundary of the super granular cells above the magnetic network. Knowing the bright points is an effective key in considering the solar spicules. In this research, we study the solar transition region bright points and examine their apparent velocities with the local correlation tracking Fourier (FLCT) method. The results illustrate that these points differ in apparent velocity direction and brightness. Their lifetime and average horizontal velocity were estimated at 100 s and 4 kms⁻¹, respectively. Recently, a new group of solar spicules has been observed, those lifetimes are around 100 s, and show a typical horizontal velocity of 3-4 kms⁻¹. According to the analysis of the two-dimensional, apparent velocity of the bright points on the rosettes of the network, these points can be the disk counterpart of the type II spicules. In addition, the analysis of the two-dimensional field of velocities shows rotations that can cause the excitation of Alfvénic pulses.

Keywords: *Solar Bright Points, FLCT, Alfvénic Pulses.*

¹ <https://doi.org/10.22051/ijap.2024.46290.1387>

² Associate Professor, Physics Department, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran. Email: e_tavabi@pnu.ac.ir

³ M. Sc. Graduated, Abdor Rahman Sufi Razi Higher Education Institute, Zanjan, Iran. Email: pigeon_547@yahoo.com

⁴ Assistant Professor, Department of Physics, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. (Corresponding Author). Email: zeighami@iaut.ac.ir

<https://jap.alzahra.ac.ir>



آنالیز دوبعدی سرعت نقاط درخشان ناحیه انتقالی خورشید

با روش ردیابی همبستگی موضعی^۱

احسان توابی^۲، معصومه تاره^۳ و سیما ضیغمی^{۴*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹

فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران

دانشکده فیزیک، دانشگاه الزهرا

سال چهاردهم، پیاپی ۳۸، پاییز ۱۴۰۳

صص ۷۵ - ۹۰

چکیده:

دانش ما در مورد منشاء و روش‌های انتقال نقاط روشن در شبکه خورشید نقش مهمی در درک پرتاب مواد و انتقال انرژی به تاج خورشیدی دارد. در خارج از نواحی فعال خورشید با وجود اینکه خورشید آرام نامیده می‌شود، پیوسته انواع مختلفی از پدیده‌های کوچک مقیاس در مرزهای طرح‌های سلولی بالای شبکه‌ی مغناطیسی، رخ می‌دهد. شناخت نقاط درخشان کمک موثری در بررسی سیخک‌های خورشیدی دارد. در این پژوهش نقاط درخشان ناحیه انتقالی خورشید را مطالعه و سرعت ظاهری آن‌ها با روش ردیابی همبستگی موضعی فوریه (FLCT) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که این نقاط از نظر جهت سرعت و میزان روشنایی با یکدیگر متفاوت‌اند. طول عمر و میانگین سرعت افقی آن‌ها به ترتیب به اندازه تقریبی ۱۰۰ ثانیه و ۴ کیلومتر بر ثانیه برآورد شد. به تازگی، دسته جدیدی از سیخک‌های خورشیدی مشاهده شده که طول عمری در حدود ۱۰۰ ثانیه و سرعت افقی معادل ۳-۴ کیلومتر بر ثانیه دارند. با توجه به تحلیل دوبعدی سرعت ظاهری نقاط روشن بر روی مرز شبکه، این نقاط می‌توانند همتای دیسک سیخک‌های نوع دوم باشند. همچنین تحلیل میدان دوبعدی سرعت‌ها، چرخش‌هایی را در آن‌ها نشان می‌دهد که می‌تواند موجب برانگیخته شدن پالس‌های آلفونی باشد.

واژگان کلیدی: نقاط درخشان خورشید، ردیابی همبستگی موضعی فوریه، پالس‌های آلفونی.

^۱ <https://doi.org/10.22051/ijap.2024.46290.1387>

^۲ دانشیار، دانشکده فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. Email: e_tavabi@pnu.ac.ir

^۳ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی عبدالرحمن صوفی رازی، زنجان، ایران. Email: pigeon_547@yahoo.com

^۴ استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. (نویسنده مسئول). Email: zeighami@iaut.ac.ir



۱. مقدمه

در ناحیه انتقالی خورشید، رویدادهای گذرایی، همراه با درخششی به صورت نقاط درخشان^۱ ظاهر می شود که با تلسکوپ و طیف نگار با وضوح بالا قابل مشاهده است [۱-۴]. این پدیده ها می توانند پروفایل های غیر گاوسی با افزایش قوی در عرض پروفایل تا ۲ ثانیه قوسی ایجاد کنند [۵، ۶]. نقاط درخشان و فعالیت هایی که در مناطق فعال^۲ رخ می دهند فراوان هستند، از جمله: رویدادهای انفجاری [۷]، حفره های تاج^۳، شبکه خورشید آرام^۴ و درخشش های داخل شبکه که نشانه های قوی از بخش مغناطیسی خورشید به شمار می روند [۸]. لایه مغناطیسی خورشیدی از راه فتوسفر مغناطیسی شده، کروموسفر، ناحیه گذار^۵ و تاج به فضای بین سیاره ای نفوذ می کند [۹]. "خورشید آرام" ناحیه ای از سطح خورشید است که از مناطق فعال و لگه های خورشیدی دور است. بخش مغناطیسی در خورشید آرام به دو ناحیه مرز شبکه و داخل شبکه تقسیم می شود [۱۰]. ناحیه داخل شبکه دور از مرزهای ابردانه ای قرار می گیرد. مرز شبکه یک منطقه پویا است که طول عمر آن دارای تغییرات مکانی و زمانی زیادی است. افزون بر ویژگی های استاتیکی، آگاهی از رفتار دینامیکی نقاط درخشان مغناطیسی برای مطالعات کروموسفر خورشیدی و ناحیه انتقالی ضروری است.

کروموسفر خورشید از ساختارهایی به نام "سیخک" تشکیل شده است. اسپیکول ها انفجارهای پلاسمایی هستند که کمابیش هر پنج دقیقه یکبار رخ می دهند و مواد داخل آنها با سرعتی در حدود ۸۰ کیلومتر بر ثانیه به سمت بالا حرکت می کنند [۱۱]. اسپیکول ها حتی در خورشید آرام نیز دیده می شوند. جت ها نقش قدرتمندی در تعادل جرم تاج خورشیدی دارند. روشنایی جت های کوچک با دما و ارتفاع تغییر می کند و مطالعات طیف سنجی داده های ارزشمندی در مورد آنها از راه تغییر در مشخصات خطوط طیفی ارائه می دهد. تغییر دوپلری در این خطوط، سرعت در امتداد خط دید و تغییرات آن با زمان و ارتفاع از سطح خورشید را مشخص می کند [۱۲، ۱۳]. با جابه جایی خطوط طیفی، اندازه گیری سرعت های چرخشی غیر حرارتی امکان پذیر است که منجر به مشاهدات غیرمستقیم امواج آلفون پیچشی می شود. این امواج می توانند تاج را با فوران پلاسماهای داغ و انتقال انرژی به صورت امواج مغناطیسی هیدرو دینامیکی گرم کنند [۱۴، ۱۵]. شبیه سازی های عددی از ناحیه همرفت خورشیدی توانایی تحول الگوهای دانه بندی و ظهور مناطق فعالی را دارند که با مشاهدات در بازه های زمانی کوتاه داخل حوزه هایی از ناحیه همرفت بالای تاج پایینی

¹ Bright points

² Active regions

³ Coronal holes

⁴ Quiet Sun

⁵ Transition region



صورت می‌گیرد. مدل‌های کنونی حتی تغییرات انرژی را که با تولید رویدادهای فورانی سازگار است پیش‌بینی کرده و وقوع یک درخشش از راه شبیه‌سازی‌های عددی حقیقی تأیید شده است. روش ردیابی همبستگی محلی^۱ [۱۶]، ردیابی همبستگی محلی مبتنی بر فوریه^۲ (FLCT) [۱۷-۱۹] از شدت نگارهای پشت هم برای تخمین جریان‌های نوری در فوتوسفر، استفاده می‌کنند. یعنی میدان سرعتی که باید روی یک تصویر اعمال شود (مانند یک تصویر پیوسته) تا در زمان بعدی آن را به تصویر هم‌تای خود متصل کند.

در پژوهش حاضر، پس از پردازش تصاویر IRIS، طول عمر، جهت و مقدار سرعت نقاط درخشان ناحیه انتقالی خورشید به روش FLCT بدست آمد. در ادامه، با استفاده از برنامه‌ی IDL و نرم افزار متلب بردارهای سرعت و سپس خطوط جریان دوبعدی بدست آمد.

۲. مشاهدات

در ابتدای کار با استفاده از سایت <http://iris.lmsal.com/search> تصاویر مورد نظر دریافت شد. داده مورد نظر باید شرایط ویژه‌ای را دارا باشد، یعنی باید منطقه‌ای از دیسک خورشید را در نظر گرفت که هم نقاط درخشان بیشتری داشته باشد و هم از زاویه دید مناسبی برخوردار باشد. همچنین این تصاویر می‌بایست دارای فاصله زمانی کم باشند. فاصله زمانی تصاویر دریافت شده برای هر طول موج برابر با ۲۰ ثانیه می‌باشد. در هر طول موج ۱۲۰۰ تصویر و در کل ۴۸۰۰ تصویر ثبت شده است. این تصویرها روی دیسک بوده و اختلاف زمانی پایین برای تصاویر در نظر گرفته شده است. برای دریافت تصاویری مناسب برای نقطه‌یابی با استفاده از برنامه متلب تصاویر با واحد اندازه‌گیری پیکسل (۰/۳ ثانیه کمانی) دریافت شد. این داده‌ها از سری داده‌های دارای شکاف ثابت تلسکوپ می‌باشد. جدول (۱) مشخصات این سری داده را نشان می‌دهد. در شکل (۱) تصاویر ناحیه دریافتی از IRIS به ترتیب در چهار طول موج ۱۳۳۰، ۱۴۰۰، ۲۷۹۶، ۲۸۳۲ آنگستروم دیده می‌شود.

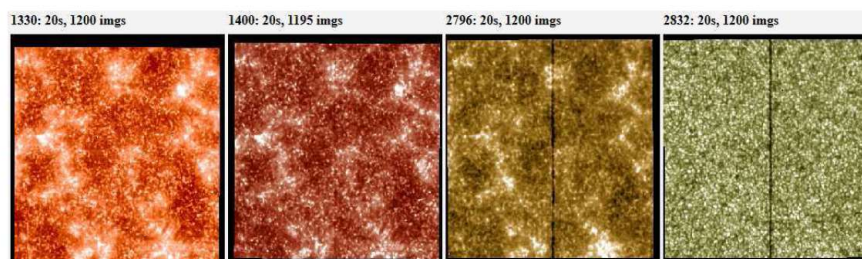
¹ Local correlation tracking

² Fourier local correlation tracking



جدول ۱ مشخصات داده مورد بررسی این مقاله.

تاریخ	شروع (U.T.) پایان (U.T.)	مقیاس افقی مقیاس قائم (ثانیه کمانی)	مرکز تصویر (ثانیه کمانی)	میدان دید افقی میدان دید قائم (ثانیه کمانی)	اندازه پیکسل (km)	فاصله زمانی تصاویر (s)
۲۷ می ۲۰۱۵	۱۱:۵۶:۱۵ ۱۸:۴۱:۴۷	۰/۳ ۰/۳	-۳۲ -۳۸	۱۲۰ ۱۱۹	۲۴۰	۲۰

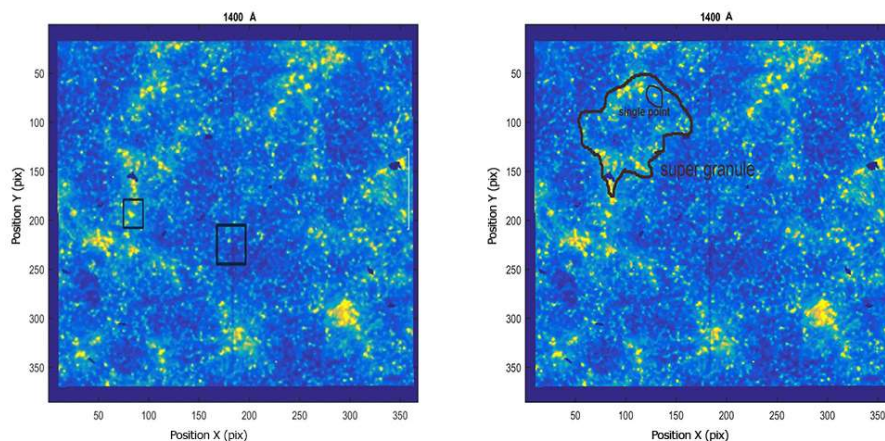


شکل ۱ تصاویر ناحیه دریافتی از IRIS در چهار طول موج ۱۳۳۰، ۱۴۰۰، ۲۷۹۶، ۲۸۳۲ آنگستروم.

۳. بررسی داده‌ها

برجسته‌ترین مشخصه‌های کوچک مقیاسی که در مرزهای شبکه قرار دارند، جت‌های خورشیدی هستند که در خط $H\alpha$ بهتر مشاهده می‌شوند. در مرحله نقطه‌یابی ابتدا با استفاده از تصاویر دریافتی از فضایی‌های آیریس و تبدیل به تصویری مناسب توسط نرم‌افزار متلب، نقاط روشنی روی مرز و داخل شبکه که به صورت مجزا می‌باشند، انتخاب شد. با بزرگنمایی نقاط درخشان توانستیم مختصات مربوط به نقطه را بیابیم. برای رسیدن به نقطه درخشان مطلوب تعداد زیادی نقطه روشن در نظر گرفته شد تا از این تعداد، نقاط درخشانی بر روی مرز شبکه و در داخل شبکه که با شرایط کار حاضر سازگار بود، انتخاب شد. شکل (۲) - سمت راست، ناحیه‌ای از شبکه و نمونه‌ای از نقاط درخشان را که از تصویر دریافتی از ماهواره آیریس در طول موج ۱۴۰۰ آنگستروم بدست آمده، نشان می‌دهد. شکل (۲) - سمت چپ، نمونه‌ای از نقاط درخشان در مرز و داخل شبکه را نشان می‌دهد.





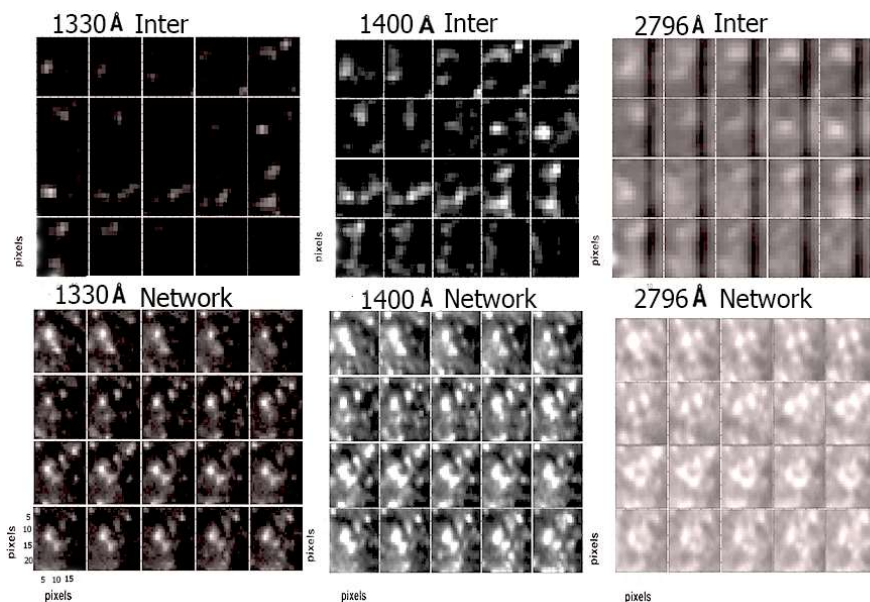
شکل ۲ (سمت راست) ناحیه‌ای از شبکه و نمونه‌ای از نقاط درخشان که از تصویر دریافتی از ماهواره آپریس در طول موج ۱۴۰۰ آنگستروم بدست آمده، و (سمت چپ) نمونه‌ای از نقاط درخشان در مرز و داخل شبکه.

برای تعیین طول عمر نقاط درخشان، پوسترهایی از تحول زمانی آن‌ها در طول موج‌های مختلف بدست آمد. چون درجه وضوح نقاط روشن در طول موج‌های مختلف متفاوت بود، به همین دلیل طول موج‌های مختلف امتحان شد. با مشاهده‌ی پوسترها افت‌وخیز نقاط روشن و جابه‌جایی آن‌ها در کنار هم دیده می‌شوند. پوسترها با استفاده از نرم‌افزار متلب آماده شده و هر پیکسل برابر با 0.3 ثانیه کمانی یا 240 کیلومتر می‌باشد. شکل (۳)، پوسترهایی تهیه شده از نقاط درخشان داخل شبکه و روی شبکه در سه طول موج را نشان می‌دهد. سه تصویر بالایی و پایینی به ترتیب تحول زمانی نقطه روشنی را در داخل شبکه و روی شبکه نشان می‌دهند. همچنین نتایج تحلیل این پوسترها نشان می‌دهد که طول عمر آن‌ها کمابیش 100 ثانیه می‌باشد.

با توجه به اینکه طول موج 1400 آنگستروم در ناحیه‌ی انتقالی قرار دارد و در این طول موج نقاط را با روشنی بیشتری می‌بینیم، بر روی این نقاط کار می‌شود. با توجه به پوسترها نقطه‌ی روی مرز شبکه جابه‌جایی کمتری نسبت به نقطه‌ی داخل شبکه دارد و همچنین نقطه‌ی روی شبکه درخشش بیشتر و ثابت‌تری نسبت به نقطه‌ی داخل شبکه دارد.

پس از بدست آوردن تصاویر پدیدار و ناپدید شدن نقاط درخشان روی دیسک خورشید، جهت و مقدار سرعت ظاهری نقاط درخشان محاسبه می‌شود. برای این کار پس از پردازش تصاویر، با روش FLCT تحت نرم‌افزار IDL، مرحله جداسازی راستای تصاویر در امتداد طولی X و عرضی Y و

آمیزه‌های از آن‌ها انجام می‌شود. بدین ترتیب با اجرای این مراحل در پایان مقدار و جهت سرعت ظاهری حاصل از تصاویر بدست خواهد آمد. جزئیات مراحل به این صورت است که ابتدا نقاط روشن داخل و روی شبکه پیدا می‌شود. سپس فریم‌ها را به صورت مستطیل در آورده تا ابعاد و دید بهتری از نقطه روشن داشته باشیم. ۱ الی ۳۰ تصویر از ۱۲۰۰ تصویر اولیه انتخاب شد. در برنامه IDL سه کد به نام‌های Cross-cor.pro و Vel-Ccor.pro و Cmove.pro اجرا می‌شود.



شکل ۳ پوسترهای تهیه شده از نقاط درخشان داخل شبکه و روی شبکه در سه طول موج. سه تصویر بالایی و پایینی به ترتیب تحول زمانی نقطه روشنی در داخل شبکه و روی شبکه را نشان می‌دهند. در هر تصویر مراحل تحول زمانی به ترتیب از چپ به راست و از بالا به پایین می‌باشد.

تفاوت دو کد برنامه LCT و FLCT این است که کد LCT بر اساس میزان همبستگی یک جفت تصویر متوالی دو بعدی اجرا می‌شود و محاسبات تنها ریاضی است و هیچ قانون پیوستگی فیزیکی را شامل نمی‌شود. بنابراین در فیزیک خورشید دارای کاستی‌هایی است. فیشر و ولش (۲۰۰۸) با بازنگری در این برنامه توانستند کد جدیدی را ارائه دهند که به نام FLCT نامگذاری شده است. اجرای این کد شامل مراحل زیر است:

- ۱- انتخاب دو تصویر پشت سر هم،



۲- محاسبه تابع همبستگی^۱ بین دو تصویر به ازای هر پیکسل و

۳- مشخص کردن محل بیشینه تابع همبستگی به ازای هر پیکسل.

بنابراین، ابتدا دو تصویر به صورت دو ماتریس با شدت‌های I_1, I_2 در زمان‌های t_1 و $t_2 = t_1 + dt$ به عنوان ورودی به برنامه تعریف می‌شود. سپس کد FLCT دو تصویر را به یک تابع گاوسی با عرض σ که در محل پیکسل (x_i, y_j) متمرکز شده به صورت زیر ضرب می‌کند:

$$S_1^{(i,j)}(x, y) = I_1(x, y) e^{-[(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2] / \sigma^2}$$

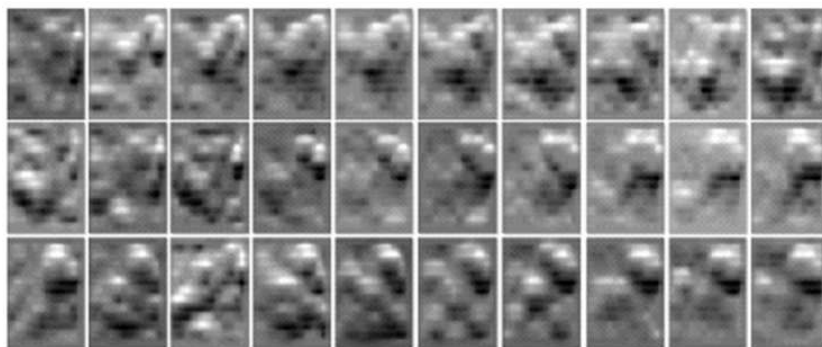
$$S_2^{(i,j)}(x, y) = I_2(x, y) e^{-[(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2] / \sigma^2}$$

برای (i, j) امین پیکسل، تابع همبستگی وابسته به زیر تصویرهای (۱) و (۲) به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۸، ۱۹]:

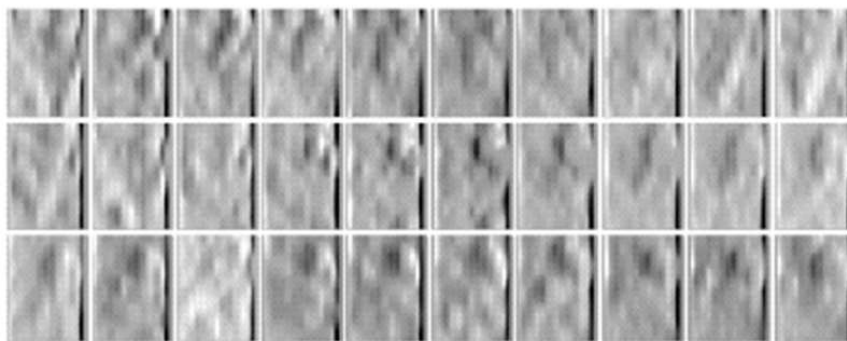
$$C^{i,j}(\delta x, \delta y) = \iint dx dy S_1^{i,j*}(-x, -y) S_2^{i,j}(\delta x - x, \delta y - y)$$

سپس برای هر دو زیر تصویر S_1, S_2 که در مکان (x_i, y_j) متمرکز شده، با محاسبه بیشینه تابع همبستگی $C(\delta x, \delta y)$ جابه‌جایی‌های $\delta x, \delta y$ بدست می‌آید. مقدار سرعت از حاصل تقسیم دامنه جابه‌جایی‌ها بر $\delta t = t_2 - t_1$ بدست می‌آید (یعنی $v_x = \delta x / \delta t$ و $v_y = \delta y / \delta t$). ابعاد تصاویر، درجه جداسازی فضایی و فاصله زمانی بین دو تصویر پشت هم را به عنوان ورودی به برنامه معرفی نموده و سپس برنامه اجرا می‌شود. شکل‌های (۴) و (۵) خروجی این برنامه است که از چپ به راست و از بالا به پایین تحول زمانی تصاویر پردازش شده حاصل از خروجی اجرای کد FLCT مربوط به نقطه‌ای در داخل شبکه به ترتیب در راستای X و Y قابل مشاهده است. همچنین این برنامه ترکیبی از تصاویر (۴) و (۵) را نیز اجرا می‌نماید که در شکل (۶) دیده می‌شود. شکل‌های (۷) و (۸) نیز خروجی این برنامه است که از چپ به راست و از بالا به پایین تحول زمانی تصاویر پردازش شده حاصل از خروجی اجرای کد بیان شده مربوط به نقطه‌ای بر روی مرز شبکه به ترتیب در راستای X و Y را نشان می‌دهد، که ترکیب آن‌ها در شکل (۹) دیده می‌شود.

¹ Cross correlation

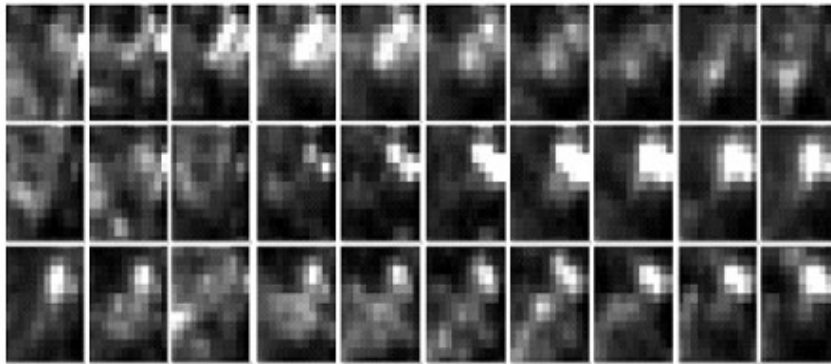


شکل ۴ از چپ به راست و از بالا به پایین تحول زمانی تصاویر پردازش شده حاصل از خروجی اجرای کد FLCT، مربوط به نقطه‌ای در داخل شبکه در راستای x مشاهده می‌شود.

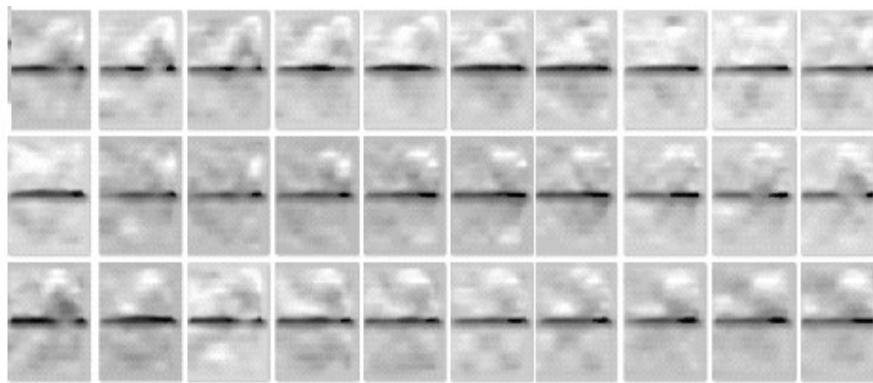


شکل ۵ از چپ به راست و از بالا به پایین، تصاویر پردازش شده حاصل از خروجی اجرای کد FLCT، مربوط به نقطه‌ای در داخل شبکه در راستای y مشاهده می‌شود.

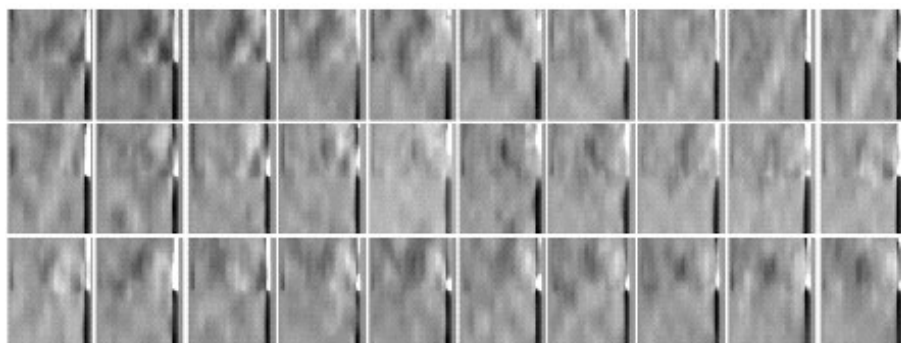




شکل ۶ از چپ به راست و از بالا به پایین، تحول زمانی شکل های ترکیبی از تصاویر طولی و عرضی حاصل از خروجی اجرای کد FLCT، مربوط به نقطه ای در داخل شبکه، مشاهده می شود.

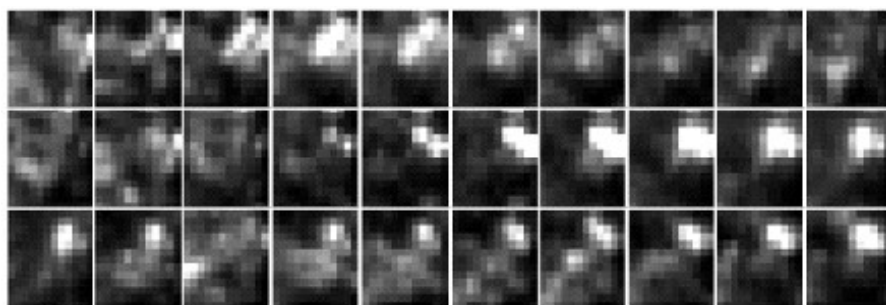


شکل ۷ از چپ به راست و از بالا به پایین، تصاویر پردازش شده حاصل از خروجی اجرای کد FLCT، مربوط به نقطه ای در مرز شبکه در راستای x مشاهده می شود.



pixels

شکل ۸ از چپ به راست و از بالا به پایین، تصاویر پردازش شده حاصل از خروجی اجرای کد FLCT، مربوط به نقطه‌ای در مرز شبکه در راستای (مشاهده می‌شود).

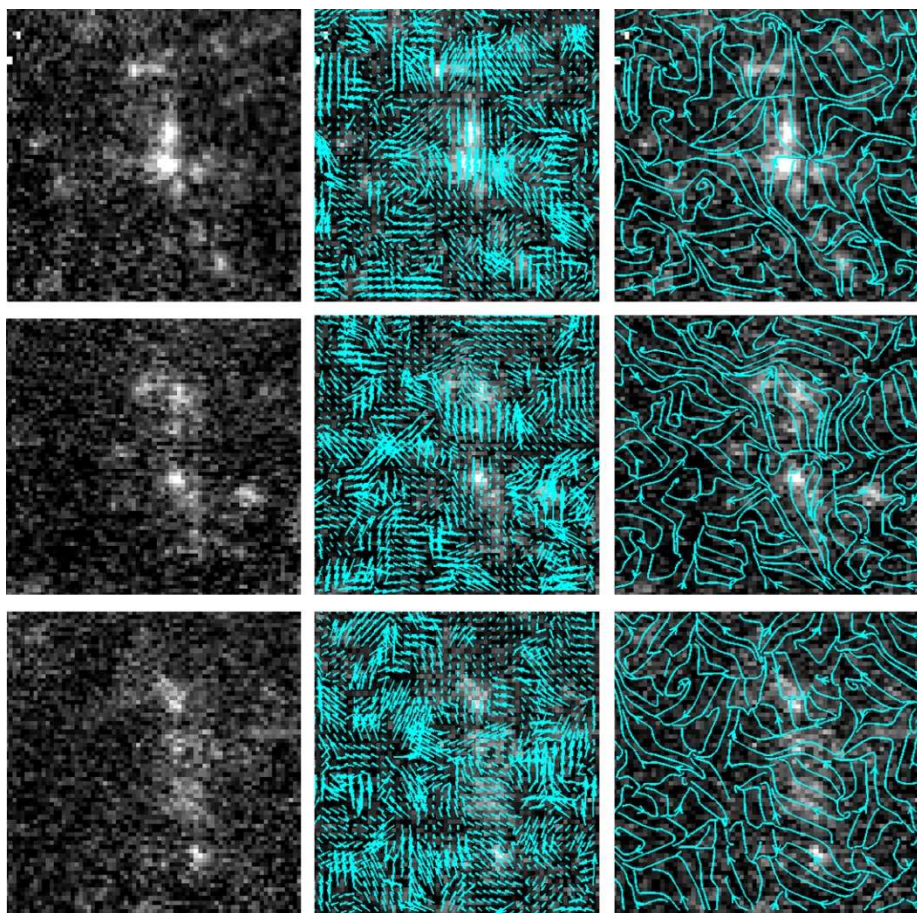


pixels

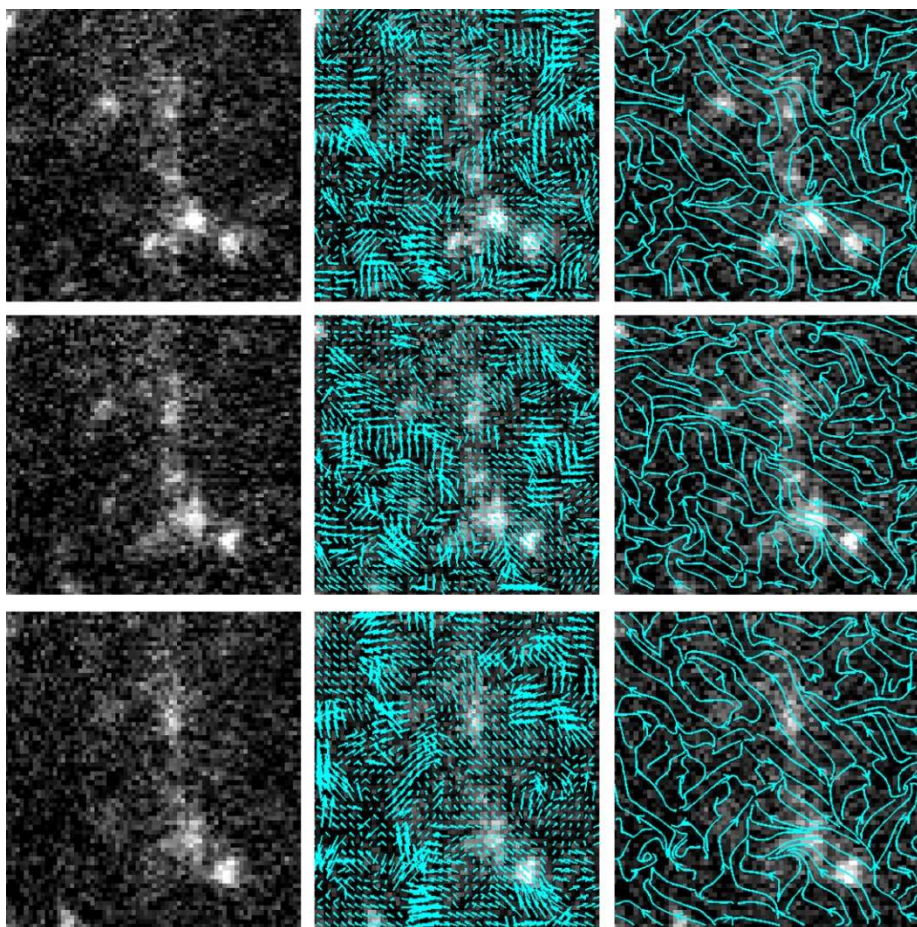
شکل ۹ از چپ به راست و از بالا به پایین، تحول زمانی شکل‌های تلفیقی از تصاویر طولی و عرضی حاصل از خروجی اجرای کد FLCT، مربوط به نقطه‌ای در مرز شبکه، مشاهده می‌شود.

حال مقدار سرعت و مشخص کردن جهت بردار سرعت ظاهری در این نقاط روشن محاسبه می‌شود. با کمی دقت در نقاط مرز و داخل شبکه‌ای به تفاوت‌های آن‌ها پی می‌بریم. برای مشخص کردن مقدار سرعت و جهت آن از نرم‌افزار متلب استفاده شد. شکل‌های (۲) و (۳) نمونه‌هایی از نتایج بررسی دو بُعدی را که به ترتیب برای نقاط روشن داخل شبکه و روی مرز شبکه بدست آمده، نشان می‌دهند. تصاویر سمت چپ تصاویر پردازش شده از نقاط درخشان، تصاویر میانی میدان دو بُعدی سرعت‌ها و تصاویر سمت راست خطوط جریان دو بُعدی هستند. از بالا به پایین هم تحول زمانی این نقاط روشن دیده می‌شود.





شکل ۱۰ تصاویر سمت چپ، میانی و راست به ترتیب تصاویر پردازش شده از نقاط درخشان داخل شبکه، میدان دوبعدی سرعت‌ها و خطوط جریان دو بعدی در داخل شبکه می‌باشند. از بالا به پایین تحول زمانی این نقاط روشن دیده می‌شود.



شکل ۱۱ تصاویر سمت چپ، میانی و راست به ترتیب تصاویر پردازش شده از نقاط درخشان روی مرز شبکه، میدان دوبعدی سرعت‌ها و خطوط جریان دو بعدی را بر روی مرز شبکه نشان می‌دهند. از بالا به پایین تحول زمانی این نقاط روشن دیده می‌شود.

۴. نتیجه گیری

در این پژوهش پس از گرفتن تصاویر مناسب از IRIS نقاط درخشان ناحیه انتقالی خورشید در طول موج ۱۴۰۰ آنگستروم شناسایی و سرعت و مسیر دو بعدی آن‌ها با روش ردیابی همبستگی موضعی محاسبه شد. نتایج نشان‌دهنده متفاوت بودن جهت، سرعت و میزان روشنایی نقاط درخشان بود. طول عمر متوسط و میانگین سرعت افقی آن‌ها به ترتیب به اندازه تقریبی ۱۰۰ ثانیه و ۴ کیلومتر بر ثانیه بدست آمد. آبرامنک و همکاران (۲۰۱۰) طول عمر این نقاط درخشان را کمتر از ۱۲۰ ثانیه



بدست آوردند [۲۰]. علیپور و صفری (۲۰۱۲) طول عمر این نقاط درخشان را با استفاده از تلسکوپ خورشیدی جدید (NST) کمتر از ۱۲۰ ثانیه مشخص کردند [۲۱]. جعفرزاده و همکاران (۲۰۱۷)، نوسانات شدت نقاط درخشان مغناطیسی را با دوره‌های زمانی ۷۳-۱۲۸ ثانیه گزارش کردند [۹]. به نظر می‌رسد که ویژگی‌های نقاط روشن تا حد زیادی به وضوح فضایی ابزار تصویربرداری بستگی دارد. ضیغمی و همکاران (۲۰۲۰)، با استفاده از داده‌های تلسکوپ IRIS مجموعه‌ای از نقاط روشن را که در ۱۷ اوت ۲۰۱۴ در طول موج‌های ۲۷۹۶، ۱۳۳۶ و ۱۳۹۴ آنگستروم ثبت شده بود، مورد مطالعه قرار داده و سرعت رو به بالای این جت‌ها را کمابیش بین ۱۰ تا ۱۱۰ کیلومتر بر ثانیه محاسبه نمودند [۱۳].

لیمین و همکاران (۲۰۲۴) بر روی داده‌های خورشید آرام در استوای شرقی و در نیمکره جنوبی و همچنین داده‌هایی در نزدیکی مرکز دیسک، تجزیه و تحلیل کردند [۲۲]. آن‌ها ویژگی‌های نقاط روشن مغناطیسی از جمله طول عمر، اختلاف شدت و سرعت را مطالعه کردند. بر اساس تجزیه و تحلیل آن‌ها، نقاط درخشان غیرمنزوی طول عمر بیشتری نسبت به نقاط منزوی دارند. آن‌ها در بررسی این نقاط روشن دریافتند که میانگین طول عمر نقاط جدا نشده واقع در نیمکره جنوبی نسبت به مرکز دیسک کوتاه‌تر است. با توجه به اینکه سیخک‌های خورشیدی نوع II دارای طول عمری در حدود ۱۰۰ ثانیه می‌باشند و سرعتی معادل ۳۰ کیلومتر بر ثانیه دارند، این نقاط می‌توانند همتای دیسک سیخک‌های نوع دوم باشند [۲۳-۲۵].

همچنین با بررسی تحلیل میدان دوبعدی سرعت‌ها، شاهد چرخش‌هایی بودیم که می‌تواند موجب برانگیخته شدن پالس‌های آلفونی باشد. شناخت نقاط روشن کمک موثری در بررسی سیخک‌های خورشیدی دارد. این باور وجود دارد که شبکه‌ی مغناطیسی با دو قطبی‌های مغناطیسی تقویت می‌شود که این دو قطبی‌ها در نواحی داخلی شبکه دانه‌های خورشیدی ظاهر می‌شوند و به اطراف حرکت می‌کنند و به وسیله جریان‌های دانه‌ای ناپدید می‌گردند.

به نظر می‌رسد که این ساختارهای کوچک مقیاس توسط میدان‌های مغناطیسی که از مرزهای شبکه امتداد دارند، ایجاد شده و مستقیماً با تحول آن مرتبط باشند. پیدایش جو زیرین اساساً ناشی از فرآیندهایی است که شامل پیدایش جریان‌های نامنظم و ترکیب مجدد شار مغناطیسی ایجاد شده با فعالیت داخلی دینامیکی است [۲۶]. خارج از نواحی فعال ناحیه‌ای است که عموماً جو آرام خورشیدی نامیده می‌شود، در حالی است که واقعا آرام نیست. این ناحیه دائماً با انواع مختلفی از پدیده‌های کوچک مقیاس که در مرزهای طرح‌های سلولی که شبکه‌ی مغناطیسی را تشکیل می‌دهند

روبه‌رو است. امواج الکترومغناطیس را می‌توان در تمام لایه‌های خورشید مشاهده کرد. این امواج بر روی رنگین سپهر و تاج خورشیدی تاثیر گذار است. مشخص کردن ویژگی‌های آن‌ها می‌تواند ما را به دلیل گرمایش تاج خورشید و طوفان‌های خورشیدی رهنمون سازد. با توجه به ویژگی‌های مغناطیسی و میزان انرژی پتانسیل که این پدیده‌های کوچک مقیاس دارا هستند، می‌توان به فرآیندهای فیزیکی که در لایه‌های مختلف خورشید رخ می‌دهد آگاهی یافت. انتظار می‌رود که دانه‌های درخشان که در داخل شبکه‌ها و بر روی مرز شبکه‌ها هستند، توان این را داشته باشند که بین ناحیه انتقال و رنگین سپهر حرکت کنند. این دانه‌ها تحت یک جرقه به سمت بالا حرکت می‌کنند و کاهش تراکم از راه رنگین سپهر و ناحیه انتقال موجب افزایش دامنه این جرقه‌ها می‌شود. براساس یافته‌های رصدی، مدل‌های نظری و شبیه‌سازی‌های عددی مختلفی توسعه یافته‌اند تا روش این ساختار را توصیف کنند. البته برخلاف پیشرفت‌های قابل توجه ایجاد شده با رصدهای خیلی دقیق و گسترش نظریه‌ها و شبیه‌سازی‌های عددی، هنوز هم رابطه‌ی متقابل آن‌ها، مشخص کردن کمیت‌های فیزیکی آن‌ها، تعریف روش شکل‌گیری دقیق آن‌ها و همچنین نقش احتمالی آن‌ها در گرمایش تاج خورشیدی نامشخص است. این ابهامات بیشتر ناشی از تفاوت در ظاهر این پدیده‌ها هنگام مشاهده در خطوط طیفی مختلف است.

۵. تقدیر و تشکر

نویسندگان از هیأت تحریریه محترم مجله و داوران محترم مقاله سپاسگزاری می‌نمایند. همچنین از کاوشگر IRIS که تصاویر فضایی با وضوح بی نظیر را در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد قدردانی می‌شود.

منابع

- [1] Martínez-Sykora, J., van der Voort, L.R., Carlsson, M., De Pontieu, B., Pereira, T., Boerner, P., Hurlburt, N., Kleint, L., Lemen, J., Tarbell, T.D. and Wuelser, J.P., "Internetwork chromospheric bright grains observed with IRIS and SST", *The Astrophysical Journal*, 803, 2015. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/803/1/44>.
- [2] Javaherian, M., Safari, H., Amiri, A. and Ziaei, S., "Automatic Method for Identifying Photospheric Bright Points and Granules Observed by Sunrise", *Solar Physics*, 289, 3969, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11207-014-0555-1>.
- [3] Shokri, Z., Alipour, N., Safari, H., Kayshap, P., Podladchikova, O., Nigro, G. and Tripathi, D., "Synchronization of Small-scale Magnetic Features, Blinkers, and Coronal Bright Points", *Apj*, 926, 42, 2022. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac4265>.
- [4] Alipour, N., Safari, H., Verbeeck, C., Berghmans, D., Auchère, F., Chitta, L.P., Antolin, P., Barczynski, K., Buchlin, É., Cuadrado, R.A. and Dolla, L., "Automatic detection of small-



- scale EUV brightenings observed by the Solar Orbiter/EUI", *Astronomy & Astrophysics*, 663, A128, 2022. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202243257>.
- [5] Brueckner, G.E. and Bartoe, J.D., "Observations of high-energy jets in the corona above the quiet sun, the heating of the corona, and the acceleration of the solar wind", *ApJ*, 272, 329, 1983. <https://doi.org/10.1086/161297>.
- [6] Tavabi, E., Zeighami, S. and Heydari, M., "Dynamics of Explosive Events Observed by the Interface Region Imaging Spectrograph", *Solar Phys*, 297, 7, 76, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11207-022-01990-x>.
- [7] Chen, Y., Tian, H., Huang, Z., Peter, H. and Samanta, T., "Investigating the Transition Region Explosive Events and Their Relationship to Network Jets", *ApJ*, 873, 79C, 2019. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab0417>.
- [8] Tziotziou, K., Tsiropoula, G. and Mein, P., "on the nature of the chromospheric fine structure I. Dynamics of dark mottles and grains", *Astronomy and Astrophysics*, 402, 361, 2003. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20030220>.
- [9] Jafarzadeh, S., Solanki, S.K., Stangalini, M., Steiner, O., Cameron, R.H. and Danilovic, S., "High-frequency Oscillations in Small Magnetic Elements Observed with Sunrise/SuFI", *ApJ*, 229, 10, 2017. <https://doi.org/10.3847/1538-4365/229/1/10>.
- [10] De Wijn, A.G., Lites, B.W., Berger, T.E., Frank, Z.A., Tarbell, T.D. and Ishikawa, R., "Hinode Observations of Magnetic Elements in Internetwork Areas", *ApJ*, 684, 1469, 2008. <https://doi.org/10.48550/arXiv.0806.0345>.
- [11] Tavabi, E., Ajabshirizadeh, A., Ahangarzadeh Maralani, A.R. and Zeighami, S., "Spicules Intensity Oscillations in SOT/HINODE Observations", *J. Astrophys. Astron.*, 36, 307, 2015. <https://doi.org/10.1007/s12036-015-9335-z>.
- [12] Tavabi, E., Zeighami, S. and Heydari, M., "Dynamics of Explosive Events Observed by the Interface Region Imaging Spectrograph", *Solar Physics*, 297, 7, 76, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11207-022-01990-x>.
- [13] Zeighami, S., Tavabi, E. and Amirkhanlou, E., "Waves propagation in network and inter-network bright points channels between the chromosphere and transition regions with IRIS observations", *JApA*, 41, 18Z, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12036-020-09633y>.
- [14] Zeighami, S., Ahangarzadeh Maralani, A.R., Tavabi, E. and Ajabshirizadeh, A., "Evidence of Energy Supply by Active-Region Spicules to the Solar Atmosphere", *Solar Physics*, 291, 847-858, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11207-016-0866-5>.
- [15] Riethmüller, T.L., Solanki, S.K., Van Noort, M. and Tiwari, S.K., "Vertical flows and mass flux balance of sunspot umbbral dots", *Astronomy & Astrophysics*, 554, A53, 5, 2013. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201321075>.
- [16] November, L.J. and Simon, G.W., "Precise Proper-Motion Measurement of Solar Granulation", *Astrophys. J.*, 333, 427, 1988. <https://doi.org/10.1086/166758>.
- [17] Hudson H. S., Fisher G. H., and Welsch B. T., "Flare Energy and Magnetic Field Variation, Subsurface and Atmospheric Influences on Solar Activity", *ASP Conference Series*, proceedings of the conference held 16-20, at the National Solar Observatory, Sacramento Peak, Sunspot, New Mexico, USA 2008.
- [18] Fisher, G.H. and Welsch, B.T., "FLCT: a fast, efficient method for performing local correlation tracking", *ASP Conf. Ser.*, 383, 373-380, 2008. <https://doi.org/10.48550/arXiv.0712.4289>.
- [19] Welsch, B.T., Fisher, G.H., Abbett, W.P. and Regnier, S., "ILCT: Recovering photospheric velocities from magnetograms by combining the induction equation with local correlation tracking", *Astrophys. J.*, 610, 1148, 2004. <https://doi.org/10.1086/421767>.
- [20] Abramenko, V., Yurchyshyn, V. and Goode, P.R., "Size and Life Time Distributions of Bright Points in the Quiet Sun Photosphere", American Geophysical Union, Fall Meeting 2010, abstract id.SH31C-1806, December 2010.



- [21] Alipour, N., Safari, H. and Innes, D.E., "An Automatic Detection Method for Extreme-ultraviolet Dimmings Associated with Small-scale Eruption", *The Astrophysical Journal*, Volume, 746(1), 12, 8, 2012. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/746/1/12>.
- [22] Zhao, L., Yang, P., Bai, H., Gong, X., Sang, M., Zhang, Y. and Yang, Y., "Statistical Properties of Magnetic Bright Points at Different Latitudes and Longitudes of the Sun", *Solar Physics*, 299, 1, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11207-023-02242-2>.
- [23] De Pontieu, B., McIntosh, S., Hansteen, V.H., Carlsson, M., Schrijver, C.J., Tarbell, T.D., Title, A.M., Shine, R.A., Suematsu, Y., Tsuneta, S. and Katsukawa, Y., "a tale of two spicules: the impact of spicules on the magnetic chromosphere", *Astronomical Society of Japan*, 59, 655, 2007. <https://doi.org/10.1093/pasj/59.sp3.S655>.
- [24] Tavabi, E., "power spectrum analysis of limb and disk spicule using hinode Ca H line broadband filter", *Astrophysics and Space Science*, 352(1), 43, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10509-014-1901-3>.
- [25] Tavabi, E., Koutchmy, S. and Ajabshirizadeh, A., "Increasing the Fine Structure Visibility of the Hinode SOT Ca II H Filtergrams", *Solar Phys.*, 283, 187, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11207-012-0011-z>.
- [26] Hagenaar, H.J., Schrijver, C.J. and Shine, R.A., "dispersal of magnetic flux in the quiet solar photosphere", *The Astrophysical Journal*, 511(2), 932, 1999. <https://doi.org/10.1086/306691>.
- [27] <http://iris.lmsal.com/search>



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

