

:

s.taran@znu.ac.ir :

(دریافت مقاله: ۹۰/۸/۱۵؛ دریافت نسخه نهایی: ۹۱/۴/۲۲)

A

شبکه

اعمال روش ردیابی حلقه‌های خمیده جهت‌مند تاج خورشید<sup>[۳]</sup> و تخمین پهنای حلقه‌ها در هر تصویر، ممان‌های زرنیک به عنوان خواص ناوردایی تصاویر<sup>[۴]</sup> برای تک تک حلقه‌ها استخراج شده و در ادامه از شبکه‌های عصبی احتمالی<sup>[۵ و ۶]</sup> برای شناسایی حلقه‌ها در تصاویر متوالی استفاده شده است.

ماهواره‌های دوگانه استرو<sup>۳</sup> داده‌هایی در سطوح مختلف وبه صورت قرص کامل از خورشید فراهم می‌کنند<sup>[۷]</sup>، که در این مقاله از داده‌های ماهواره استرو A، بسته ابزاری سچی<sup>۴</sup>، در ابعاد

تاج خورشید شبکه در هم پیچیده‌ای از خطوط میدان مغناطیسی است. نتایج مطالعات خورشیدی بر این واقعیت اشاره دارد که دینامیک تاج خورشید توسط میدان مغناطیسی کنترل می‌شود. با توجه به اینکه میدان مغناطیسی می‌تواند گازهای داغ را گیر اندازد، می‌توان یک حلقه مغناطیسی را مشاهده کرد. در نتیجه مطالعه ساختار حلقه‌ها و به دنبال آن مطالعه میدان مغناطیسی خورشید پیش‌نیاز فهم فرآیندهای دینامیکی تاج است<sup>[۱ و ۲]</sup>. گاز و پلاسمای چگال موجود در ساختار حلقه‌ها می‌تواند سبب انتشار امواج فرابنفش دور شود. به همین سبب استخراج شکل حلقه‌ها از تصاویر فرابنفش دور و استفاده از آنها در بازسازی ساختار خطوط میدان تاج از اهمیت بالایی برخوردار است.

در این مقاله روشی برای استخراج ساختار حلقه‌ها و نیز ردیابی حلقه‌ها در تصاویر متوالی فرابنفش دور ارائه شده است. با

۱. Oriented Coronal CURved Loop Tracing (OCCULT)

۲. Probabilistic Neural Network(PNN)

۳. STEREO, Solar Terrestrial Relations Observatory

۴. SECCHI, the Sun-Earth Connection Coronal and Heliospheric Investigation

$$I_{\setminus}(x_i, y_i) = I_0(x_i, y_i) - \text{smooth}[I_0(x_i, y_i), n_{sm}], \quad (1)$$

در اینجا ابعاد جعبه کار به صورت تجربی،  $n_{sm} = 9$  خانه انتخاب شده است، قابل ذکر است نیم پهنای حداقل برای حلقه‌ها در حدود ۳ خانه می‌باشد.

تقریب (تجربی) برای نیم پهنای گاوسی ( $\omega$ ) مقطع یک حلقه و ثابت صافی بالا گذر برای بهترین افزایش وضوح ساختار به صورت زیر ارائه می‌شود.

$$n_{sm} = 3 + 2\omega, \quad (2)$$

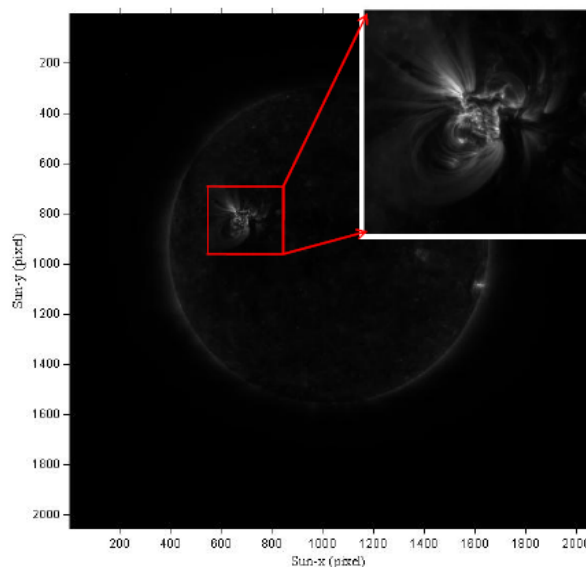
بدین ترتیب با انتخاب درست  $n_{sm}$  و هموار کردن تصویر و تنظیم صافی، ساختار واضح شده و نسبت سیگنال به نوفه تصویر موازنه می‌شود (برای جزئیات بیشتر به اشواندن ۲۰۱۰ مراجعه شود [۳]).

برای تشخیص خودکار ساختارهای حلقه‌ای، روندی تکراری انجام می‌شود. بدین منظور شناسایی از روشن‌ترین حلقه تصویر تا تاریک‌ترین حلقه که دارای شدتی کمتر از  $I_{th}$  می‌باشد، انجام می‌شود. در اصل، آستانه نوفه‌های تصویر، ترکیبی از نوفه‌های خطاهای ابزاری (خانه‌های داغ، تاریک با انرژی بالا، بازخوانی و غیره) است، بنابراین بهتر است برای هر تصویر به طور تجربی یک مقدار آستانه انتخاب شود.

برای انجام این کار، از انحراف معیار و متوسط تصاویر حاصل از صافی بالا گذر استفاده می‌شود که در اصل  $I_{th}$  دارای مقدار متوسط نزدیک به صفر است. تصویر آستانه  $I_{th}$  به صورت 
$$I_{th} = I_0 + N_{\sigma} \sigma_{th}, \quad (3)$$
 در نظر گرفته شده و برای تشخیص حلقه‌های معنی‌دار در تصاویر استرو فرابنفش دور مقدار تجربی  $N_{\sigma} = 0.5$  انتخاب شده است.

برای شناسایی، روشن‌ترین مکان ساختار حلقه به عنوان مکان قله  $(x_p, y_p)$  مشخص می‌شود. سپس برای مشخص کردن جهت موضعی لبه از نمونه‌گیری میانگین شارش‌ها  $F_k$ ، در تمام جهات  $\phi_k$  و به فاصله شعاعی  $\rho_l$  استفاده می‌شود:

$$F_k = \frac{1}{\rho_l} \sum_{l=\rho_k}^{\rho_l} F(x_{kl}, y_{kl}), \quad (4)$$



شکل ۱. تصویر قرص کامل خورشید مربوط به ۰۰:۰۶:۰۰، متعلق به ۱۱ دسامبر ۲۰۰۷ و تصویر برش خورده ناحیه فعال در ابعاد  $131 \times 131$  پیکسل.

۲۰۴۸ × ۲۰۴۸ پیکسل استفاده شده است. این داده‌ها در طول موج ۱۷۱ انگستروم، متعلق به ۱۱ دسامبر ۲۰۰۷ می‌باشند. با انتخاب یک ناحیه فعال در این تصاویر در ابعاد  $301 \times 301$  پیکسل، شناسایی و ردیابی حلقه‌ها در این تصاویر انجام شده است. در شکل ۱ نمونه‌ای از تصاویر قرص کامل و ناحیه فعال برش خورده آورده شده است.

روش ردیابی حلقه‌های خمیده جهت مند تاج خورشید در سال ۲۰۱۰ توسط اشواندن<sup>۱</sup> ارائه شده است [۳]. بدین منظور مراحل زیر برای شناسایی حلقه‌ها انجام می‌شود:

اولین مرحله استفاده از صافی فرکانس بالا گذر (صافی ای که فرکانس‌های بالاتر از مقدار خاصی را عبور داده و مانع گذر فرکانس‌های پایین‌تر از آن می‌شود) می‌باشد، که با استفاده از یک جعبه کار دو بعدی مربعی به ضلع  $n_{sm}$ ، تصویری با فرکانس یکنواخت را از تصویر اصلی کم کرده و تصویر  $I_{\setminus}$  ساخته می‌شود.

۱. Aschwanden

دیگر حلقه را به دست آورد:

$$x_{i+1} = x_i + \Delta s \cos(\phi_i), \quad (9)$$

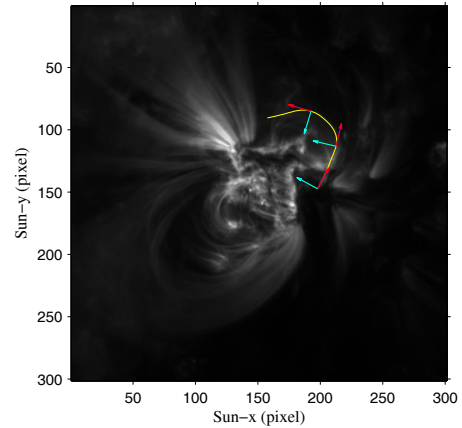
$$y_{i+1} = y_i + \Delta s \sin(\phi_i). \quad (10)$$

در محاسبات برداری با استفاده از تابع فرن-سرت<sup>۱</sup>، خواص جنبشی یک ذره که در طول یک منحنی در حال حرکت است، توضیح داده می‌شود. با استفاده از فرمول‌های فرن-سرت می‌توان بردارهای بهنجار، بهنجار دوم و مماس را در هر نقطه از منحنی به دست آورد. در شکل ۲ بردارهای بهنجار و مماس یک حلقه دیده می‌شود.

با داشتن بردارهای عمود و مختصات نقاط منحنی می‌توان معادلات خطوط عمود در هر نقطه را نوشت. طول خط عمود در هر نقطه را طوری تعیین می‌کنیم که خط عمود فقط شامل حلقه مورد نظر باشد. حال با تکیه بر بیشینه موضعی، شدت نقاط موجود روی خط عمود و انتخاب نقاطی با شدتی در حدود ۹۵ درصد شدت بیشینه، می‌توان پهنای حلقه را تخمین زد. بدین صورت هر کدام از حلقه‌های شناسایی شده در تصاویر جداگانه‌ای قرار می‌گیرند.

۲

ممان‌های دایروی متعامد به صورت نگاشت یک تصویر به مجموعه‌ای از چند جمله‌ای‌های مختلط متعامد تعریف می‌شوند. ممان‌های متعامدی مانند زرنیک اولین بار توسط تیگو<sup>۳</sup> پیشنهاد شدند [۴]. با توجه به ویژگی تعامد، ممان‌های زرنیک برای نمایش یک تصویر با کمترین میزان اطلاعات از دست رفته، استفاده می‌شود. علاوه بر این، ممان‌های زرنیک به طور ذاتی تحت چرخش ناورد می‌باشند و با بهنجارش چند جمله‌ای‌های اصلی، تحت انتقال و مقیاس نیز ناورد هستند. ممان‌های زرنیک دایروی متعامد با چند جمله‌ای‌های مختلط تعریف می‌شوند. این چند جمله‌ای‌ها در دایره منحصراً به فرد،



شکل ۲. نمونه‌ای از اعمال فرمول‌های فرن-سرت است که در این شکل بردارهای مماس به رنگ قرمز و بردارهای نرمال به رنگ آبی نشان داده شده‌اند.

$$x_{kl} = x_p + \rho_l \cos(\phi_k), \quad (5)$$

$$y_{kl} = y_p + \rho_l \sin(\phi_k), \quad (6)$$

که محدوده‌های شعاعی  $\rho_l = -(L_{box}/2 - \Delta s)$  و  $\rho_l = (L_{box}/2)$  طوری تعریف می‌شوند تا بتوان انحنای قدم‌های جابجایی  $\Delta s$  را در راستای رو به جلوی خمیدگی‌ها جبران کرد. با داشتن میانگین شارش‌ها در تمام جهات و به دست آوردن بیشینه مقدار آنها می‌توان جهت موضعی لبه را تعیین کرد:

$$F_{max} = \max [F_k (\phi_{dir} = \phi_k)], \quad (7)$$

این الگوریتم شناسایی را از روشن‌ترین بخش حلقه آغاز می‌کند ولی همیشه روشن‌ترین پیکسل بخشی از ساختار یک حلقه نبوده و ممکن است ناشی از خطاهای ابزاری و یا متعلق به ساختارهای غیر حلقه باشد. یک روش مؤثر برای تشخیص درست ساختارهای کشیده حلقه‌ها نسبت  $FWHM$  طول ساختار به طول جعبه کار  $L_{box}$  است که آن را ضریب پرشدگی می‌نامند:

$$q_{fill} = \frac{FWHM}{L_{box}}, \quad (8)$$

از آزمایش‌های عددی و برای مطلوب‌ترین آشکارسازی مقدار  $q_{fill} \geq 0.25$  در بیشتر تصاویر مناسب شناخته شده است.

بعد از شناسایی درست مکان قله  $(x_p, y_p)$  و تخمین جهت آغازین لبه می‌توان حلقه را به طور کامل مورد شناسایی قرار داد. با حرکت در یک جهت و با گام‌های  $\Delta s$ ، به کوچکی یک پیکسل و یا به بزرگی  $\Delta s = 2\omega$  می‌توان مختصات نقاط

۱. Frenet- Serret

۲. Zernike Moment

۳. Teague

$$\iint V_{nm}(r, \theta) V_{pq}^*(r, \theta) r dr d\theta = \frac{\pi}{p+1} \delta_{mn} \delta_{pq}, \quad (12)$$

تعریف می شود. چند جمله‌ای‌های زرنیک شعاعی نیز به صورت زیر تعریف می شوند:

$$S_{pq}(r) = \sum_{k=0}^{p-q} (-1)^k \frac{(p-k)!}{k!((p+q)/2-k)!((p-q)/2-k)!} r^{p-2k}. \quad (13)$$

چند جمله‌ای‌های زرنیک در تفکیک تابع شدت تصویر به صورت زیر مورد استفاده قرار می گیرند:

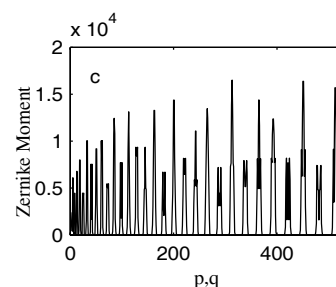
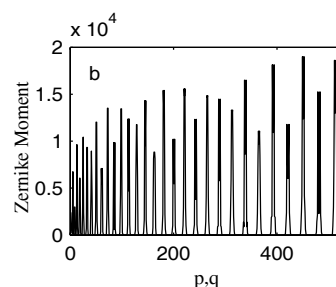
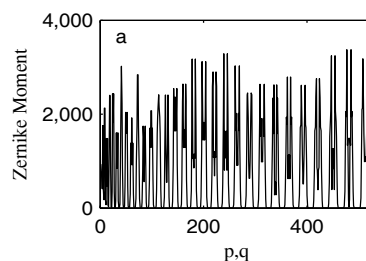
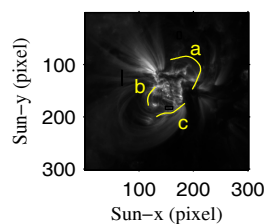
$$f(r, \theta) = \sum_{p=0}^{\infty} \sum_{q=0}^p Z_{pq} V_{pq}(r, \theta). \quad (14)$$

ممان‌های زرنیک دو بعدی، با مرتبه  $p$  و تکرار  $q$ ، به صورت زیر تعریف می شوند:

$$Z_{pq} = \frac{p+1}{\pi} \iint V_{pq}^*(r, \theta) f(r, \theta) r dr d\theta. \quad (15)$$

ممان‌های زرنیک با مقادیر منفی  $q$  با رابطه  $Z_{p,-q} = Z_{p,q}^*$  محاسبه می شوند. ویژگی‌های تعامد در چند جمله‌ای‌های زرنیک این امکان را فراهم می کند تا توزیع هر ممان منحصر به فرد و مشخص کننده اطلاعات هر تصویر باشند. با استفاده از ممان‌های زرنیک، تصاویر به قرص نگاشت می شوند به طوری که همه سلول‌های تصاویر در ممان‌های زرنیک محاسبه شوند. ممان‌های زرنیک مختلط هستند بدین منظور از دامنه زرنیک،  $|Z_{pq}|$  و فاز  $\Theta = \arctan(I(Z_{pq})/Re(Z_{pq}))$  برای تعیین اطلاعات هر تصویر استفاده می کنیم. در این مقاله ما از کد مطلب برای ممان‌های زرنیک با  $q=31$  استفاده کردیم. شکل ۳ ممان‌های زرنیک را برای سه حلقه متفاوت که در شکل برش خورده نشان داده شده‌اند، بر حسب  $p$  و  $q$  نمایش می دهد. با توجه به شکل می توان دید که ممان زرنیک هر حلقه منحصر به فرد بوده و از ممان زرنیک دیگر حلقه‌ها قابل تمایز است.

در این بخش نوعی از شبکه‌های عصبی مصنوعی به نام شبکه



شکل ۳. ممان‌های زرنیک سه حلقه برچسب خورده در تصویر مربوط به حلقه‌ها نشان داده شده است. در این تصویر اختلاف بین ممان‌ها به وضوح مشاهده می شود.

$(x^2 + y^2) \leq 1$  و در مختصات قطبی بیان می شوند. چند

جمله‌ای‌های زرنیک با مرتبه  $q$  و تکرار  $p$  به صورت

$$V_{pq}(r, \theta) = S_{pq}(r) e^{iq\theta} \quad (11)$$

تعریف می شوند، به طوری که  $i = \sqrt{-1}$ ،  $p = 0, 1, 2, \dots, \infty$  و  $q$  نیز شامل مقادیر مثبت و منفی می باشد. چند جمله‌ای‌های زرنیک،  $V_{pq}(r, \theta)$ ، مجموعه‌ای متعامد می باشند که رابطه تعامد آنها به صورت

موج ۱۷۱ آنگستروم استفاده شده است. یک منطقه فعال در ابعاد  $301 \times 301$  پیکسل از تصویر اصلی برش خورده و با استفاده از روش ردیابی حلقه‌های خمیده جهت‌مند تاج خورشید در هر تصویر مربوط به زمان‌های  $00:06:00$  و  $00:09:00$  و  $00:16:00$  و  $00:21:00$  و  $00:26:00$  و  $00:31:00$ ، به ترتیب ۹۴، ۹۶، ۹۹، ۸۳ حلقه مورد شناسایی قرار گرفته است. برنامه کامپیوتری این بخش در زمان بسیار کوتاهی قابل اجرا است. ولی از آنجایی که در شناسایی، بیشترین شدت یک حلقه را مکان قله آن حلقه قرار می‌دهد، با تغییر شدت حلقه‌ها در تصاویر مختلف امکان دارد حلقه‌های مشابه به طور یکسان شناسایی نشوند. در این مرحله منحنی‌هایی متناسب با شکل حلقه‌های تصویر در اختیار قرار می‌گیرد. با محاسبه ممان زرنیک تصاویر این منحنی‌ها نتیجه مورد قبولی از ردیابی‌ها به دست نخواهد آمد. به منظور بهبود نتیجه نهایی با تخمین پهنای حلقه‌ها، هر حلقه به طور کامل مورد شناسایی قرار خواهد گرفت. با توجه به اینکه قدرت تفکیک فضایی ماهواره استرو ۱/۵ ثانیه قوسی است و تصاویر این ماهواره وضوح بالایی ندارند در تخمین پهنای حلقه‌ها دچار خطا خواهیم شد، در صورتی که بتوان از تصاویری استفاده کرد که قدرت تفکیک فضایی بالاتری داشته باشند، همانند تصاویر ماهواره اس. دی. او<sup>۲</sup>، تخمین پهنای حلقه‌ها به راحتی امکان پذیر خواهد بود.

در محاسبه ممان‌های زرنیک تصاویر، با کاهش ابعاد تصویر، سرعت اجرای کد مربوط به محاسبه ممان‌ها افزایش خواهد یافت. با آموزش دادن ممان‌های زرنیک ۹۴ حلقه از اولین تصویر اول به شبکه عصبی احتمالی، شبکه موفق به شناسایی صد در صد حلقه‌های این تصویر خواهد شد. برای ردیابی حلقه‌ها در تصاویر بعدی، ممان‌های زرنیک تصاویر حلقه‌های مورد بررسی، برای آزمایش به شبکه داده می‌شود که شبکه موفق شده است در تصاویر زمان‌های بعدی به ترتیب ۱۶، ۱۴، ۱۵، ۱۵ و ۳ حلقه را به درستی ردیابی کند. با توجه به اینکه مدت فاصله زمانی بین داده‌های استرو در حدود سه الی چهار

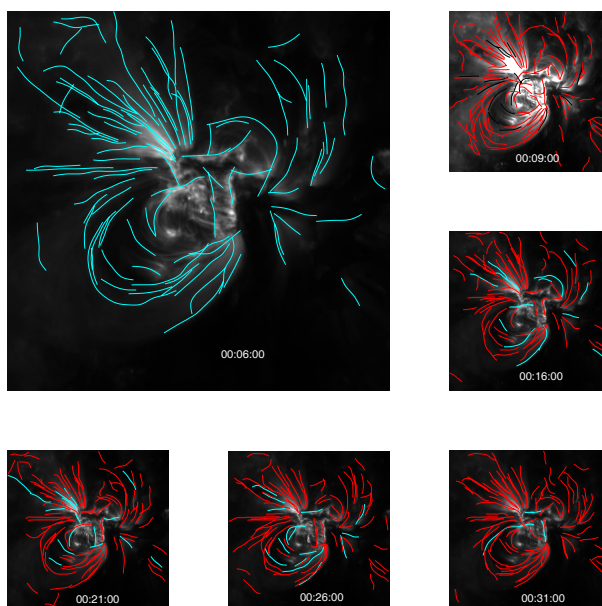
عصبی احتمالی استفاده شده است که برای مسائل طبقه‌بندی شده استفاده می‌شود. یک مجموعه طبقه‌بندی شده با مجموعه‌ای از ورودی‌های  $P$  و هدف  $T$  تعریف می‌شود.  $PNN$  نوعی شبکه پشتیبان است که در آغاز توسط مجموعه خاصی از ورودی‌ها و اهداف که نمونه‌های آموزشی<sup>۱</sup> نام دارند، آموزش می‌بیند. اگر بردارهای ورودی را شامل  $k$  کلاس متفاوت در نظر بگیریم، در این صورت هر بردار هدف شامل  $k$  عنصر خواهد بود که عنصر مربوط به کلاس خودش مقدار ۱ و بقیه مقادیر صفر خواهند بود.  $PNN$  شامل دو لایه است. وقتی بردارهای ورودی به شبکه آموزش داده می‌شوند اولین لایه فاصله بین هر بردار ورودی و نمونه‌های ویژه‌گر را مقایسه کرده و در نهایت برداری که عناصر آن نشانگر این فواصل می‌باشند را فراهم می‌کند. لایه دوم برداری شامل احتمالات خروجی‌های لایه اول را نتیجه خواهد داد. در نهایت توابع انتقالی لایه دوم بیشترین مقدار شباهت بین بردار احتمالات را انتخاب کرده و در خروجی برای آنها مقدار یک و برای بقیه مقدار صفر را در نظر می‌گیرد. با استفاده از این فرآیند، شبکه هر بردار ورودی را به یکی از  $k$  کلاس موجود با بیشترین مقدار احتمال مرتبط می‌کند [۳]. این فرآیند در جعبه ابزار شبکه عصبی، بسته نرم‌افزاری MATLAB اجرا شده است. در اجرای عملی اندازه ممان‌های زرنیک حلقه‌های یک تصویر برای آموزش به شبکه داده شده‌اند، سپس اندازه ممان زرنیک‌های حلقه‌های تصاویر بعدی برای تست وارد شبکه شده‌اند.

با توجه به حجم عظیم داده‌های تصویری در دسترس از خورشید، گسترش روش‌های خودکار شناسایی و ردیابی حلقه‌های تاج در مطالعه ساختار این حلقه‌ها بسیار حائز اهمیت است.

با توجه به روش ارائه شده در این مقاله می‌توان حلقه‌ها را در تصاویر متوالی ردیابی کرد. بدین منظور از داده‌های ۱۱ دسامبر ۲۰۰۷ ماهواره استرو A، بسته ابزاری سیچی و در طول

۲. Solar Dynamic Observatory (SDO)

۱. Trained Samples



شکل ۴. اولین تصویر سمت چپ، بالا، نشانگر حلقه‌هایی است که ممان زرنیک آنها به شبکه، آموزش داده شده‌اند. در تصاویر بعدی، حلقه‌هایی که هم‌رنگ حلقه‌های تصویر اول هستند توسط شبکه، شناسایی شده و حلقه‌های قرمز رنگ شناسایی نشده‌اند.

مورد قبول خواهد بود. با روش شناسایی و ردیابی حلقه‌ها در این مقاله امکان مطالعه نوسانات حلقه‌ها، محاسبه طول عمرشان و نیز برجسته‌بینی حلقه‌ها از داده‌های تصویری، می‌تواند با دقت بالاتری انجام شود.

دقیقه است، در این فواصل زمانی امکان از دست دادن حلقه‌های تصویر اولیه وجود خواهد داشت. در صورت استفاده از داده‌هایی با فواصل زمانی کوتاه‌تر امکان ردیابی حلقه‌های بیشتر وجود خواهد داشت. همچنین با وارد کردن فاز در محاسبه ممان‌های زرنیک دقت کار بالاتر رفته و نتیجه بیشتر

5. M Bazarghan, H Safari, D E Innes, Karami, and S K Solanki, *Astronomy and Astrophysics*, **492** (2008).
6. E Tajfirouze, and H Safari, *The Astrophysical Journal*, **744** (2012).
7. Charis Davis, Danielle Bewsher, Jackie Davies, and Steve Crothers, Rutherford Appleton Laboratory, <http://stereo.gsfc.nasa.gov>, July (2008).

1. M Stix, "*The Sun: An introduction*," Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York (2002).
2. M J Aschwanden, "*Physics of the Solar Corona*," Springer, Germany (2004).
3. M J Aschwanden, *Solar Phys.* **262** (2010).
4. Khalid M Hosny, *Information Sciences*, **180** (2010) 2299.