

مشاهده نوسان‌های بسیار طولانی پیش‌شراره‌ای، برای دوازده شراره خورشیدی، به‌عنوان

یک نشانه وقوع شراره

ملیحه جلالی‌راد^۱ و نرگس فتحعلیان^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲. استادیار، دانشکده فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵)

(دریافت: ۱۴۰۰/۶/۸، پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۱/۳۰)

چکیده

شراره‌های خورشیدی طغیان‌های ناگهانی در جو خورشید هستند که تابش‌هایی در طول موج‌های رادیویی تا اشعه گاما دارند و با توجه به انرژی‌شان در کلاس‌های مختلف (به‌ترتیب A, B, C, M, X) طبقه‌بندی می‌شوند. پیش‌بینی زمان وقوع یک شراره و مشخص کردن نوع کلاس آن می‌تواند به کم‌کردن اثرات مخرب آن بر روی زمین کمک کند. یکی از فرایندهای پیش از وقوع شراره که می‌تواند به پیش‌بینی وقوع آن کمک کند نوسانات با دوره‌تناوب طولانی (VLP) در فاز پیش‌شراره است که نخستین بار توسط تان و همکاران (۲۰۱۶) گزارش شد.

ما در این مقاله با استفاده از داده‌های ماهواره گوس (GOES)، هجده شراره را به‌لحاظ وقوع VLP‌های پیش‌شراره انتخاب و بررسی کردیم که ۶ شراره در کلاس C و ۱۲ شراره در کلاس M هستند. از این میان در دوازده مورد از آنها VLP‌های منظم را پیش از وقوع شراره مشاهده کردیم که به‌جز یکی بقیه در کلاس M بودند. دوره‌تناوبی که برای VLP‌های این شراره‌ها با کمک تبدیل فوریه ی سریع، محاسبه کردیم ۱۴ تا ۲۸/۹ دقیقه است که با نتایج تان و همکاران (۲۰۱۶) در توافق است. تعداد پالس‌های مشاهده شده در هر پیش‌شراره بین ۳ تا ۷ عدد است. برای شش شراره دیگر باقی مانده از مجموعه منتخب ما، نیز VLP منظمی مشاهده نشد، که آنها به‌جز یک مورد همه در کلاس C بودند.

واژه‌های کلیدی: شراره، فاز پیش‌شراره، پیش‌بینی وقوع شراره، نوسانات بسیار طولانی پیش‌شراره‌ای، داده‌های ماهواره گوس GOES.

۱. مقدمه

نقش بسیار مهمی دارند. با توجه به این که شراره با انفجار تابش‌هایش مشخص می‌شود، اکثر آنها طیف نوری و گاهی اشعه ایکس و فرابنفش ایجاد می‌کنند و اصولاً توسط فوتوسفر و کروموسفر در منابعی متمرکز به نام نقاط متصل به خورشید (Footpoint) و نوار (Ribbon)ها انتشار می‌یابند. این گسیل‌ها و تابش‌ها زمانی ایجاد می‌شوند که لایه‌های پایینی جو خورشید در طول شراره گرم می‌شوند و این گرمایش ناشی از برخورد ذرات، احتمالاً نقش مهمی را در رخ دادن شراره بازی می‌کند؛ علاوه بر آن تابش‌هایی با انرژی بالا مانند اشعه ایکس سخت (HXR) از الکترون‌ها و اشعه‌های گاما از یون‌ها را نیز موجب می‌شوند.

به‌طور کلی یک شراره خورشیدی به سه فاز تقسیم

شراره‌های خورشیدی طغیان‌های ناگهانی از تابش‌ها و تشعشعات در جو خورشید هستند که غالباً در نواحی فعال مغناطیسی رخ می‌دهند و از لحاظ مقیاس اندازه و انرژی دارای گستره‌ای از کوچک‌ترین پدیده قابل مشاهده به نام میکروشراره با انرژی 10^{26} ارگ تا بزرگ‌ترین شراره‌ها با انرژی کمی بیشتر از 10^{32} ارگ (یا 10^{25} ژول) هستند (هانا و همکاران، ۲۰۱۱). فرایند آزادسازی انرژی مغناطیسی در شراره‌ها توسط باز-اتصال مغناطیسی صورت می‌گیرد که اغلب به‌وسیله یک میدان مغناطیسی پیچیده ایجاد می‌شود (بنز، ۲۰۱۷). شراره‌ها باعث شتاب‌گیری بسیاری از الکترون‌ها و یون‌ها می‌شوند و انرژی آنها را تا حد انرژی نسبی بالا می‌برند. این ذرات پر شتاب در زمان آزادسازی انرژی‌های بزرگ از شراره‌های خورشیدی

کمتر از ثانیه تا چند صد ثانیه هستند (برای مثال تان و همکاران، ۲۰۰۷؛ شن و همکاران ۲۰۱۳؛ اینگلیس و همکاران، ۲۰۱۶؛ پیگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ یو و چن، ۲۰۱۹). مکانیزم عمومی تولید QPPها هنوز به طور کامل شناخته شده نیست (ون دورسلا و همکاران، ۲۰۱۶؛ مک لاولین و همکاران، ۲۰۱۸) و به امواج مغناطیویدرودینامیک (ونگ و همکاران، ۲۰۱۵؛ تیان و همکاران، ۲۰۱۶؛ ناکاریاکوف و همکاران، ۲۰۱۹b) یا باز-اتصال مغناطیسی (ترگود و همکاران، ۲۰۱۷؛ لی و همکاران، ۲۰۲۰b) نسبت داده می شود.

طبق مشاهداتی که تاکنون ثبت شده در فاز پیش‌شراره ساختارهای بسیاری مانند تابش‌های طیف رادیویی، فعالیت رشته‌ها، فوران‌های اشعه ایکس، گاما و غیره مشاهده و گزارش شده است. تشخیص این ساختارها که برخی ساده و برخی پیچیده‌اند، از بین دریای داده‌ها مشکل است ولی در بررسی روش‌های پیش‌بینی شراره کمک بزرگی هستند. یکی از ساختارهای قابل مشاهده نوسانات و پالس‌هایی با دوره تناوب بلند و منظم هستند که حدود یک تا دو ساعت قبل از شروع شراره به وقوع می‌پیوندند. با بررسی داده‌های مشاهده شده SXR از GOES در طول فاز پیش‌شراره می‌توان این پالس‌ها را با مقیاس‌های زمانی مشابه در طول فرایندهای شراره‌ای مشاهده کرد. ماهواره GOES شامل یک سری ماهواره‌های زمین-گرد (Geostationary) است، که از نظر زمانی هم‌پوشانی دارند به طوری که همیشه یک تا سه فضایما در مدار مشغول به کار هستند و این سری بودن، درستی زمان ثبت شده از شار انرژی اشعه ایکس نرم را تضمین می‌کند. با بررسی داده‌های مشاهده شده SXR از GOES در طول فاز پیش‌شراره می‌توان به این نتیجه رسید که در برخی از شراره‌ها یک تا دو ساعت قبل از شروع شراره نوسانات و پالس‌هایی با دوره تناوب بلند، اتفاق می‌افتد. این پدیده «پالس‌های بسیار طولانی‌مدت» (VLPs) نامیده شده است که در فاز پیش‌شراره اتفاق می‌افتند. پدیده VLPها با مقیاس‌های زمانی مشابه در طول فرایندهای مختلف

می‌شود که این تقسیم‌بندی با توجه به منحنی نوری شار اشعه ایکس نرم ثبت شده توسط GOES در طول موج ۱ تا ۸ آنگستروم صورت گرفته است: فاز پیش‌شراره (قبل از شروع شراره)، فاز صعود (از شروع شراره تا نقطه ماکزیمم شار آن) که این بازه زمانی را زمان صعود شراره نیز می‌نامند، و فاز پس‌شراره (زمان بعد از ماکزیمم شار آن). در فاز پیش‌شراره که حدود ده دقیقه تا یک ساعت قبل از شراره است، شدت اشعه ایکس نرم ($> 10 \text{ KeV}$) افزایش می‌یابد یعنی تا زمانی که زبانه‌های یک ناحیه فعال، شروع به بالا آمدن می‌کند. به زبان دیگر دقیقه قبل از وقوع شراره میدان مغناطیسی در ناحیه فعالی که شراره در آن در حال وقوع است شروع به بازآرایی می‌کند. فاز صعود به طور معمول ۵ دقیقه (و گاهی تا ۱ ساعت) طول می‌کشد که با افزایش شدید در شدت و سطح تابش اشعه ایکس نرم و $H\alpha$ مشخص می‌شود. شتاب‌گیری ذرات سریع ادامه پیدا می‌کند و پلاسمای تاجی در اثر گرمایش به ده‌ها میلیون درجه کلوین می‌رسد. در فاز آرام، شدت شراره به آرامی کاهش می‌یابد (از یک ساعت تا یک روز). در بسیاری از شراره‌ها فاز پیش‌شراره نمایان نمی‌شود و برخی انفجار سریع و ضربه‌ای دارند (برای مثال شراره‌های تکانشی) و میزان بسیار زیادی ذرات با انرژی بالا و اشعه ایکس سخت را تولید می‌کنند. بعضی از شراره‌ها (مانند شراره‌های آرام) فرایند آهسته‌تری دارند و تابش‌های پرنانرژی کمتری را تولید می‌کنند (پریست، ۲۰۱۴).

در هنگام وقوع شراره، درهم‌تنیدگی یک ساختار پیچیده میدان مغناطیسی با پلازما معمولاً یک پدیده شبه‌نوسانی را ایجاد می‌کند که با نام پالس شبه‌نوسانی (QPP) شناخته می‌شود (ناکاریاکوف و همکاران، ۲۰۱۹a). این پدیده شبه‌نوسانی می‌تواند در فاز پیش‌شراره (جاو و همکاران، ۲۰۱۶؛ لی و همکاران، ۲۰۲۰a) و یا فاز صعود و پس‌شراره (کولوتوف و همکاران، ۲۰۱۵؛ لی و همکاران، ۲۰۱۷؛ نیگ ۲۰۱۷؛ هیز و همکاران، ۲۰۱۹) مشاهده شود. پیوندهای گزارش شده در شراره‌های خورشیدی، بسته به ابزارهای مشاهداتی و طول‌موج‌های اندازه‌گیری شده، از

اتفاق می‌افتد که نوسانات مغناطوهیدرودینامیک (MHD) درباره تشکیل پالس‌های شبه‌پریودیک توضیحاتی را ارائه می‌دهد؛ زیرا نوسانات مغناطوهیدرودینامیک می‌تواند تقریباً تمام جنبه‌های فرایندهای انتشار و تابش از قبیل باز-اتصال مغناطیسی و مدل‌سازی آهنک تغییرات آن، شتاب و دینامیک الکترون و شرایط و ویژگی‌های پلازما را تحت تأثیر قرار دهد. دوره‌تناوب و سایر پارامترها با خواص و ویژگی‌های پلازما و ساختارشناسی میدان مغناطیسی در ارتباط است. فاولون و همکاران (۲۰۰۵) گزارشی از پالس‌هایی با دوره‌تناوب طولانی را با زمان‌بندی ۸ تا ۱۲ دقیقه ارائه کرده‌اند و توسط نوسانات MHD آنها را به‌عنوان یک پمپاژ متناوب و پریودیک الکترون در یک حلقه پیچیده شراره‌ای تعبیر و معرفی کردند (فاولون و همکاران، ۲۰۰۵).

برخی از دانشمندان پیشنهاد کردند که چنین پالس‌هایی ممکن است مربوط به نوسانات آهسته در حلقه‌های بزرگ-مقیاس تاجی باشد، درحالی‌که تحقیقات دیگر حاکی از آن است که پالس‌های با دوره‌تناوب طولانی می‌توانند با گرانش درونی خورشید و همچنین با امواج ناشی از نوسانات کروموسفری مرتبط باشند (یوان و همکاران، ۲۰۱۱). یکی دیگر از توضیحات احتمالی دیگر برای VLPها، می‌تواند پایداری حرارتی ناشی از امواج صوتی (آکوستیک) مغناطیسی ایستا در حلقه‌های شار مغناطیسی باشد (کومار و همکاران، ۲۰۱۶). نوسانات MHD نیز گزینه مناسبی برای توضیح تشکیل VLPها به نظر می‌رسد. با این حال، هنگامی که از این مکانیزم برای شرح شکل‌گیری VLPها استفاده می‌کنیم، با برخی سوالات جدی مواجه می‌شویم: می‌دانیم که انفجار شراره ممکن است عامل ایجاد VLP در حین وقوع شراره باشد اما مشخص نیست چه چیزی در شراره بدون انفجار باعث ایجاد نوسانات قبل از شروع آن می‌شود. همچنین هنوز توضیح روشنی برای تجمع و ذخیره انرژی در فاز پیش‌شراره نداریم.

حلقه‌های شراره‌ای خورشیدی جریان‌های الکتریکی طولی

شراره‌ای یا حتی غیرشراره‌ای خورشید مکرراً گزارش شده‌اند (برای مثال نگاه کنید به هاریسون، ۱۹۸۷؛ اسوتکا، ۱۹۹۴؛ ونگ، ۲۰۱۱؛ تان و همکاران، ۲۰۱۰؛ یوان و همکاران، ۲۰۱۱). با این حال، VLPهای پیش‌شراره برای اولین بار در مقاله تان و همکاران (۲۰۱۶) گزارش و بررسی شد. تان و همکاران (۲۰۱۶) چهار VLP پیش‌شراره‌ای را در یک تا دو ساعت قبل از وقوع شراره، برای شراره‌های M2.9، ۲۵ اکتبر ۲۰۱۳، C2.4، ۱۳ ژولای ۲۰۱۲، X2.0، ۲۶ اکتبر ۲۰۱۴، و X2.7، ۵ می ۲۰۱۵، با دوره‌تناوب‌هایی بین ۸ تا ۳۰ دقیقه گزارش کردند. پس از آن لی و همکاران (۲۰۲۰c)، VLPهای پیش‌شراره را، در طول موج‌های $H\alpha$ و EUV ۲۱۱، پیش از وقوع یک شراره از نوع M1.1 (۱۶ اکتبر ۲۰۱۵)، مشاهده کردند که دوره‌تناوب آن‌را حدود ۹/۳ دقیقه گزارش دادند. ما در این مقاله هجده شراره مختلف را انتخاب کرده‌ایم که از جهت وجود VLPهای پیش‌شراره مورد بررسی قرار می‌دهیم. از این تعداد، ۶ شراره در کلاس C و ۱۲ شراره در کلاس M هستند. در بخش ۲، روش پژوهش را شرح می‌دهیم. در این قسمت به توضیح VLPهای پیش‌شراره و مکانیزم ایجاد آنها می‌پردازیم و سپس معیارهای لازم برای تعیین VLPهای پیش‌شراره را معرفی می‌کنیم. در بخش ۳ که به اندازه‌گیری، مشاهدات و محاسبات اختصاص دارد، داده‌های به‌کار رفته در این پژوهش را شرح می‌دهیم و شراره‌های انتخاب‌شده را معرفی می‌کنیم. سپس نتایج به‌دست آمده از محاسبات خود را در جدول مختص به آن می‌آوریم. در انتها، در بخش ۴ به بحث و نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

۲. روش پژوهش

۲-۱. VLPهای پیش‌شراره و مکانیزم ایجاد آنها

دلیل تشکیل VLPهای پیش‌شراره در فاز پیش‌شراره چیست؟ همان‌طور که می‌دانیم، پالس‌های شبه‌پریودیک با پریود یا دوره‌تناوب کمتر از ثانیه تا چند دقیقه در طول موج‌های مختلف در طول فاز صعود و فاز پس‌شراره

حدوداً از مرتبه 10^{11} خواهد بود. آیا این تخمین برای جریان الکتریکی منطقی است؟ باید در نظر داشته باشیم که مقدار جریان الکتریکی در یک ناحیه فعال حاوی شراره که توسط مشاهدات مغناطیس-نگاشت‌های برداری ثبت شده‌است، تا مرتبه 10^{12} آمپر نیز گزارش شده است (تان و همکاران، ۲۰۰۶) و با توجه به این که یک ناحیه فعال همواره از چند ده یا چند هزار حلقه پلاسما تشکیل شده‌است، منطقی است که فرض کنیم در یک شراره با تک حلقه پلاسما به‌ویژه در فاز پیش‌شراره جریان الکتریکی در اندازه 10^{11} آمپر خواهد بود. البته در طول فاز صعود شراره جریان‌های الکتریکی قوی‌تری نیز به‌دست می‌آید که می‌تواند به‌دلیل ناپایداری بیشتر حلقه‌های پلاسما شراره در این فاز باشد.

معمولاً شراره‌های با زمان صعود طولانی فاقد VLP‌های پیش‌شراره هستند که ممکن است به‌دلیل آزادسازی نسبتاً آرام انرژی در این نوع شراره‌ها و درهم‌تنیدگی حلقه‌های شراره باشد. از این‌رو انتظار داریم که در شراره‌های قوی‌تر با زمان صعود کوتاه‌تر با احتمال بیشتری VLP‌های پیش‌شراره را مشاهده کنیم.

۲-۲. بررسی معیارهای تعیین VLP‌های پیش‌شراره

در این بخش به توضیح معیارهای تعیین و شناسایی VLP‌های پیش‌شراره می‌پردازیم. برای این که پالس‌های مشاهده شده را VLP پیش‌شراره در نظر بگیریم باید این شرایط را داشته باشند: (۱) در طول ۲ ساعت قبل از شروع شراره اتفاق افتاده باشند، (۲) بیش از ۳۰ دقیقه طول کشیده باشند و از حداقل ۴ پالس تشکیل شده باشد، (۳) حداکثر دامنه هر پالس بیش از 2σ باشد (σ انحراف از معیار دمای زمینه قبل از شروع پالس‌های متوالی است)، (۴) بازه زمانی بین دو پالس مجاور دوره تناوب نامیده می‌شود (P)، بیشترین مقدار P از دوبرابر کمترین P کمتر باشد ($P_{max} < 2P_{min}$) و ($P > 1 \text{ min}$). هنگامی که پالس‌ها شرایطی که در بالا توضیح داده شد را دارا بودند،

نیز دارند. در طول فاز پیش‌شراره ناحیه فعال منشأ شراره، انرژی مغناطیسی را به تدریج از طریق همرفتی در فوتوسفر انباشته و ذخیره می‌کند. همرفت در فوتوسفر می‌تواند باعث ایجاد صفحات برشی، چرخش و حرکت‌های پیچیده‌ای حول حلقه‌های نقاط پایه (Footpoint) شود و جریان‌های الکتریکی را در پلاسما حلقه هدایت کند. جریان الکتریکی باعث تغییراتی در میدان مغناطیسی می‌شود که این تغییرات باعث ایجاد رسانایی در پلاسما می‌شود. جریان پلاسما که دارای ضریب رسانندگی است باعث می‌شود حلقه رفتاری مشابه یک مدار LRC با ضریب القایی الکتریکی L و ظرفیت الکتریکی C از خود نشان دهد (جهت مطالعه بیشتر در این مورد نگاه کنید به آلفن و کارلویست (۱۹۶۷) و همچنین تویاس و کاتانو (۲۰۱۳). به‌طوری که

$$C = \frac{8\pi\rho S^2}{\mu_0^2 l^2}, \quad L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \left(\ln \frac{8l}{\sqrt{\pi S}} - \frac{7}{4} \right) \quad (1)$$

در اینجا $\rho = n_e m_e + n_i m_i \approx n m_i$ چگالی پلاسما بر حسب kgm^{-3} ، n ، چگالی عددی پلاسما، که l و I به‌ترتیب سطح مقطع (m^2)، طول حلقه پلاسما (m) و جریان الکتریکی (A) هستند. چنین مدار LRC‌ی یک نوسان درونی با تناوب زیر را ایجاد خواهد کرد (رابطه ۶ مقاله تان و همکاران (۲۰۱۶)):

$$P = 2\pi\sqrt{LC} \approx 2.75 \times 10^4 \frac{S\sqrt{\rho}}{I} \quad (2)$$

نوسانات LRC می‌توانند هم تابش گرمایی و هم تابش غیرگرمایی را تعدیل کنند. تابش گرمایی در تابش اشعه ایکس نرم تأثیر دارد و تابش غیرگرمایی در تابش‌های اشعه ایکس سخت و ذرات پرنرژی تأثیر دارد. همان‌طور که از رابطه فوق پیدا است، دوره تناوب با سطح مقطع S متناسب است و با I نسبت عکس دارد (تان و همکاران، ۲۰۱۶). با فرض این که در حلقه تاجی شراره $n = 10^{16} \text{ m}^{-3}$ ، $l = 5 \times 10^7 \text{ m}$ و شعاع سطح مقطع $r = 5 \times 10^6 \text{ m}$ باشد و با این فرض که دوره تناوب VLP‌های پیش‌شراره تا ۵۰ دقیقه باشد جریان الکتریکی

حالی که طول‌موج بلند با ضخامت فیلتر بریلیم (Be) تعریف می‌شود. ماهواره گوس ۱۳-۱۵ داده‌ها را با فاصله زمانی ۲/۰۴۸ ثانیه برای هر دو کانال A (طول‌موج کوتاه ۰/۵ تا ۴ آنگستروم) و B (طول‌موج بلند ۱ تا ۸ آنگستروم) به‌طور همزمان جمع‌آوری می‌کند. این داده‌ها با فرمت csv و netcdf (nc) ذخیره می‌شوند.

ما در این مقاله هجده شراره مختلف را از داده‌های فوق استخراج کردیم و مورد بررسی قرار دادیم. این شراره‌ها را از میان شراره‌هایی که زمان خیزش (Rising time) کمتری داشتند انتخاب کردیم، چرا که طبق مشاهدات تان و همکاران (۲۰۱۶)، در چنین شراره‌هایی احتمال وجود پالس‌های پیش‌شراره بیشتر است. برای این کار داده‌های ماهواره گوس ۱۵ با فرمت csv را بارگیری کردیم. برای جلوگیری از تکرار مکررات اطلاعات اولیه نظیر کلاس شراره، زمان شروع و اوج آن و همچنین موقعیت مکانی و ناحیه فعال مربوط به آن برای هجده شراره در جدول ۱ آمده‌است. داده‌های گرفته شده از دو ساعت قبل از شروع شراره تا نیم‌ساعت بعد از اتمام آنها است. منفرد بودن شراره‌ها نیز در نظر گرفته شده است. به این معنی که تا دو ساعت قبل از شراره، هیچ شراره‌ای هم‌اندازه یا بزرگ‌تر از آن رخ نداده است. سپس توسط کدهایی که با کمک نرم‌افزار MATLAB نوشتیم، منحنی نوری اشعه ایکس شراره‌های انتخابی را رسم کردیم که در شکل‌های ۲ و ۴ نشان داده شده‌است. منحنی نوری SXR در طول‌موج ۱-۸ آنگستروم یا ۰/۵-۴ آنگستروم برای شراره‌ها رسم شده‌است. شکل ۲ شراره‌هایی که پالس‌های پیش‌شراره در آنها مشاهده شده‌است را نشان می‌دهد که برای هر شراره دوره‌تناوب آنرا نیز با روش تبدیل فوریه (کد (MATLAB در FFT (Fast Fourier Transform) به‌دست آوردیم. اولین دوره‌تناوب را از میان قابل‌توجه‌ترین (most significant) دوره‌تناوب‌های به‌دست آمده از تبدیل فوریه برای هر پیش‌شراره، در نظر گرفتیم. برای نمونه، در شکل ۶ منحنی پریودگرام (طیف توانی بر حسب فرکانس) برای دو شراره اول

می‌گوییم شراره همراه با VLP‌های پیش‌شراره است و اگر نبود، می‌گوییم شراره بدون VLP‌های پیش‌شراره است (تان و همکاران، ۲۰۱۶).

به‌علاوه در بررسی چنین مواردی بهتر است شراره‌های منفرد را مورد مطالعه قرار دهیم تا تأثیر شراره‌های دیگر اختلالی ایجاد نکند. منظور از شراره منفرد این است که شراره‌ای هم‌اندازه و یا بزرگ‌تر از شراره موردنظر در ۲ ساعت قبل از آن وجود نداشته باشد و یا هیچ‌گونه داده‌های ثبت شده اشتباهی که نتایج را تحت‌تأثیر قرار دهد، وجود نداشته باشد.

۳. اندازه‌گیری، مشاهدات و محاسبات

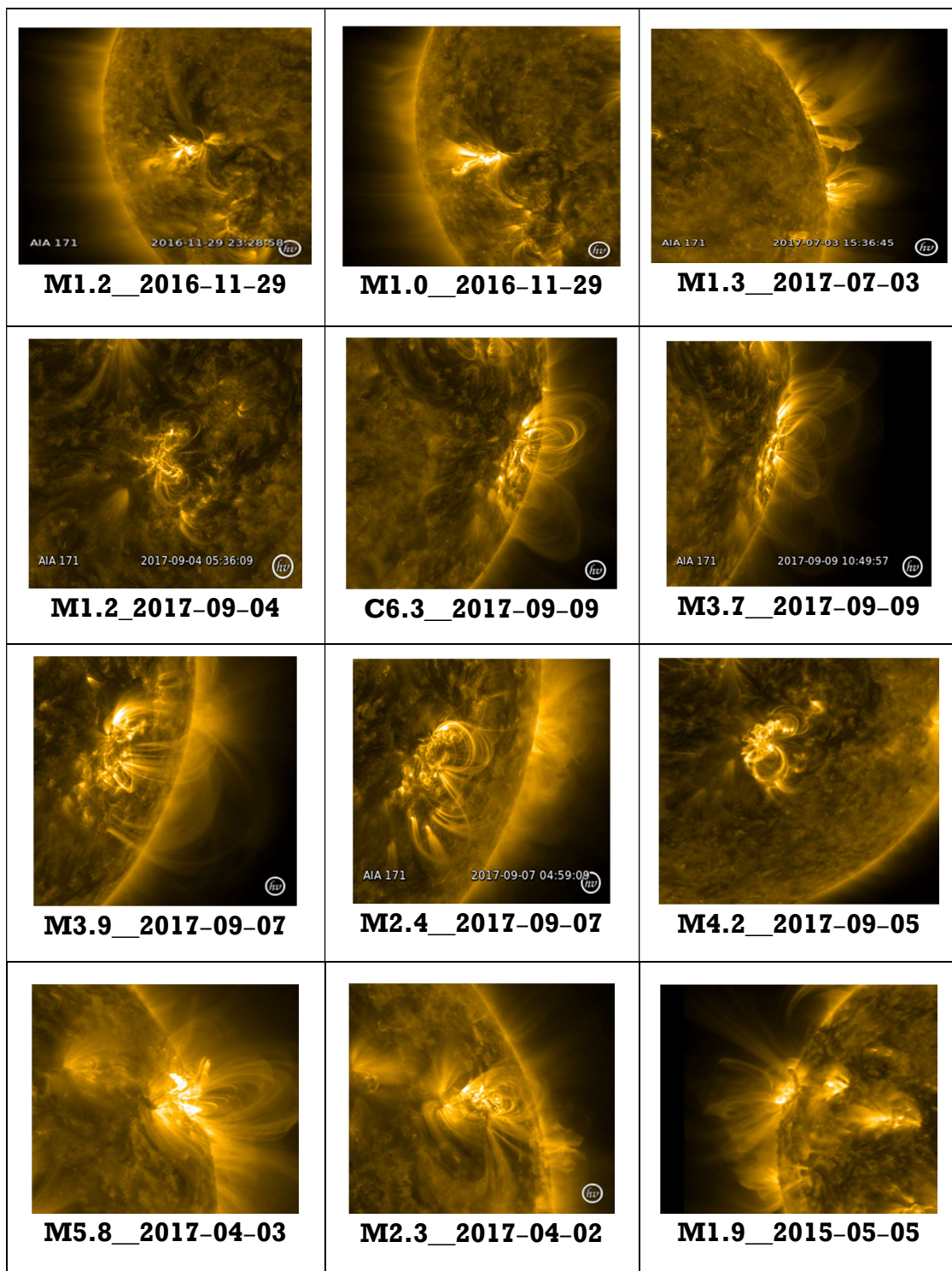
ما برای این پژوهش از شراره‌های منفرد در سیکل ۲۴ ساله خورشید که توسط اشعه ایکس نرم ماهواره گوس (GOES) (داده‌های GOSE-15) در طول‌موج ۱-۸ آنگستروم یا ۰/۵-۴ آنگستروم با فاصله زمانی ۲ ثانیه مشاهده و ثبت شده‌اند، استفاده کردیم. هر ماهواره GOES دارای دو حسگر اشعه ایکس است که تابش‌های اشعه ایکس خورشید را در دو پهنای باند ۰/۵-۴ آنگستروم (کانال کوتاه) و ۱-۸ آنگستروم (کانال بلند) اندازه می‌گیرد. اندازه‌گیری‌ها در این باندها توسط مرکز پیش‌بینی هواشناسی فضایی NOAA از سال ۱۹۷۴ شروع شده‌است و در مرکز ملی اطلاعات زیست‌محیطی آمریکا ذخیره می‌شود. ابزارهای اندازه‌گیری این ماهواره الکترون‌های ورودی را از تابش‌ها منحرف می‌کنند تا فقط اشعه ایکس اندازه‌گیری شود. ماهواره گوس ۱۲-۸ (گوس سری I تا M) و ماهواره گوس ۱۳-۱۵ (گوس سری NOP) دارای ردیاب سلولی یونی، ردیاب اشعه ایکس و فیلترهایی هستند که پهنای باند طیفی تقریباً مشابه را برای هر دو سری ایجاد می‌کنند. اگرچه الکترونیک این دو سریال بسیار متفاوت است، اما اندازه‌گیری‌ها در تمام محدوده‌های دینامیکی کامل به‌جز در سطح بسیار پایین سیگنال، مشابه‌اند. برای هر حسگر، طول‌موج کوتاه توسط سلول یونی تعریف می‌شود، در

VLP نشان می‌دهند بین ۱۴ تا ۲۸/۹ دقیقه است. منحنی‌های شکل ۴ نیز مربوط به شراره‌های بدون پیش‌شراره است. در این نوع شراره‌ها پالس‌های پیش‌شراره یا دیده نمی‌شود یا شرایط لازم که در ابتدای همین بخش ذکر شد را ندارند. مثلاً شراره C3.3 در تاریخ ۲۰۱۷/۰۴/۱۸ اصلاً پالس ندارد و در شراره C7.5 در تاریخ ۲۰۱۶/۱۱/۲۹ فقط یک پالس با دامنه مشخص دیده می‌شود. یا در شراره C5.6 در تاریخ ۲۰۱۶/۰۹/۲۲ اگر پالسی هم هست با فاصله زمانی مشخص و متناوب نیست.

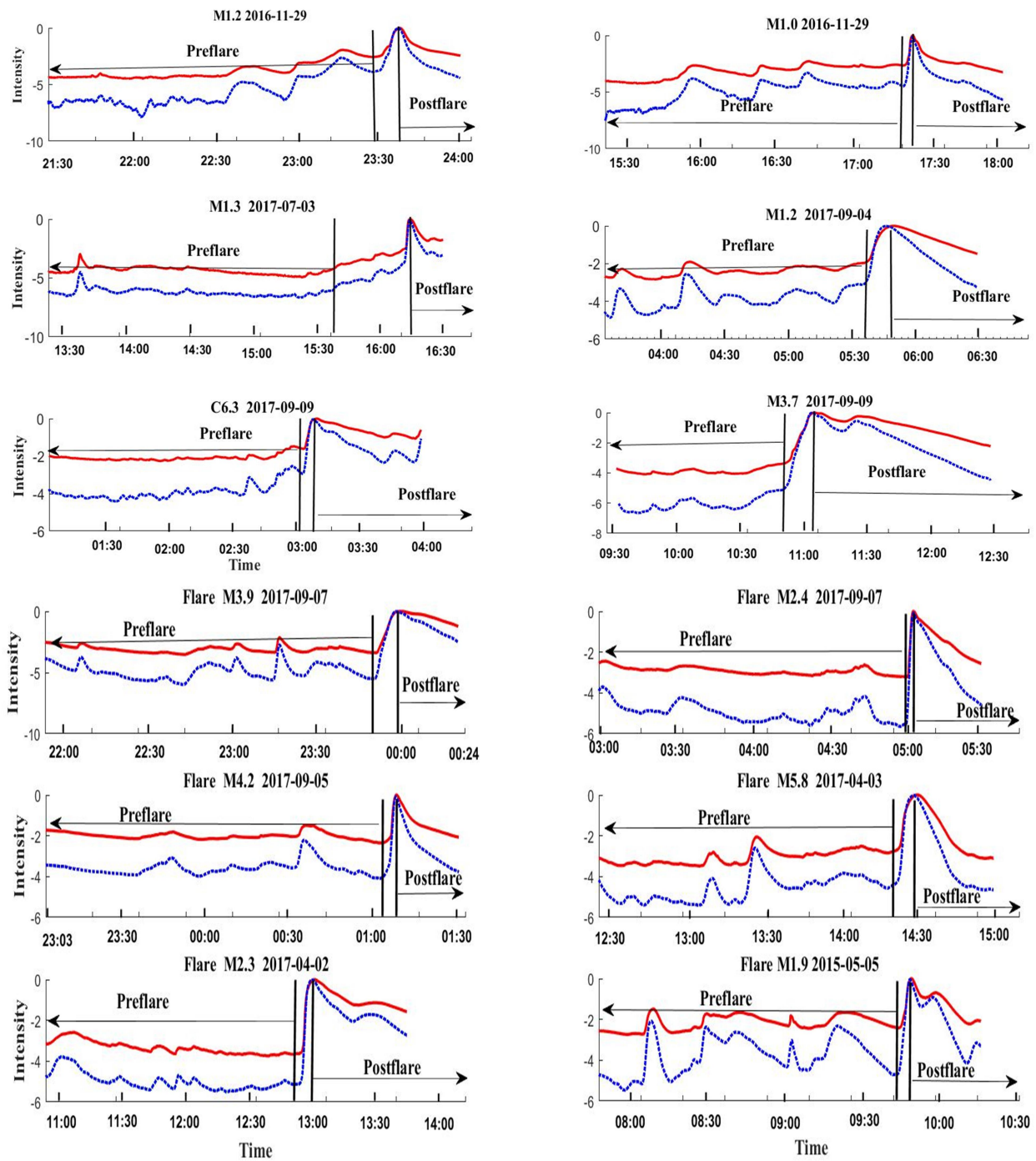
آورده شده است. همان‌طور که در منحنی‌های آمده در شکل‌های ۲ و ۴ دیده می‌شود پالس‌ها یا همان نوسانات متوالی با فواصل زمانی‌ای تقریباً برابر، قبل از شروع شراره رخ می‌دهند که همان VLP‌های پیش‌شراره هستند. در برخی از شراره‌ها دامنه پالس‌ها از ابتدا تا قبل از شروع شراره رو به افزایش هستند مانند شراره M1.2 در تاریخ ۲۰۱۶/۱۱/۲۹ ولی در برخی از آنها دامنه پالس‌ها رو به کاهش هستند مانند شراره M1.3 در تاریخ ۲۰۱۷/۰۷/۰۳. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، دوره‌تناوب‌هایی که به دست آوردیم برای شراره‌هایی که

جدول ۱. مشخصات شراره‌ها و دوره‌تناوب‌های به دست آمده برای شراره‌های دارای VLP (۱۲ شراره اول) و بدون VLP (۶ شراره دوم).

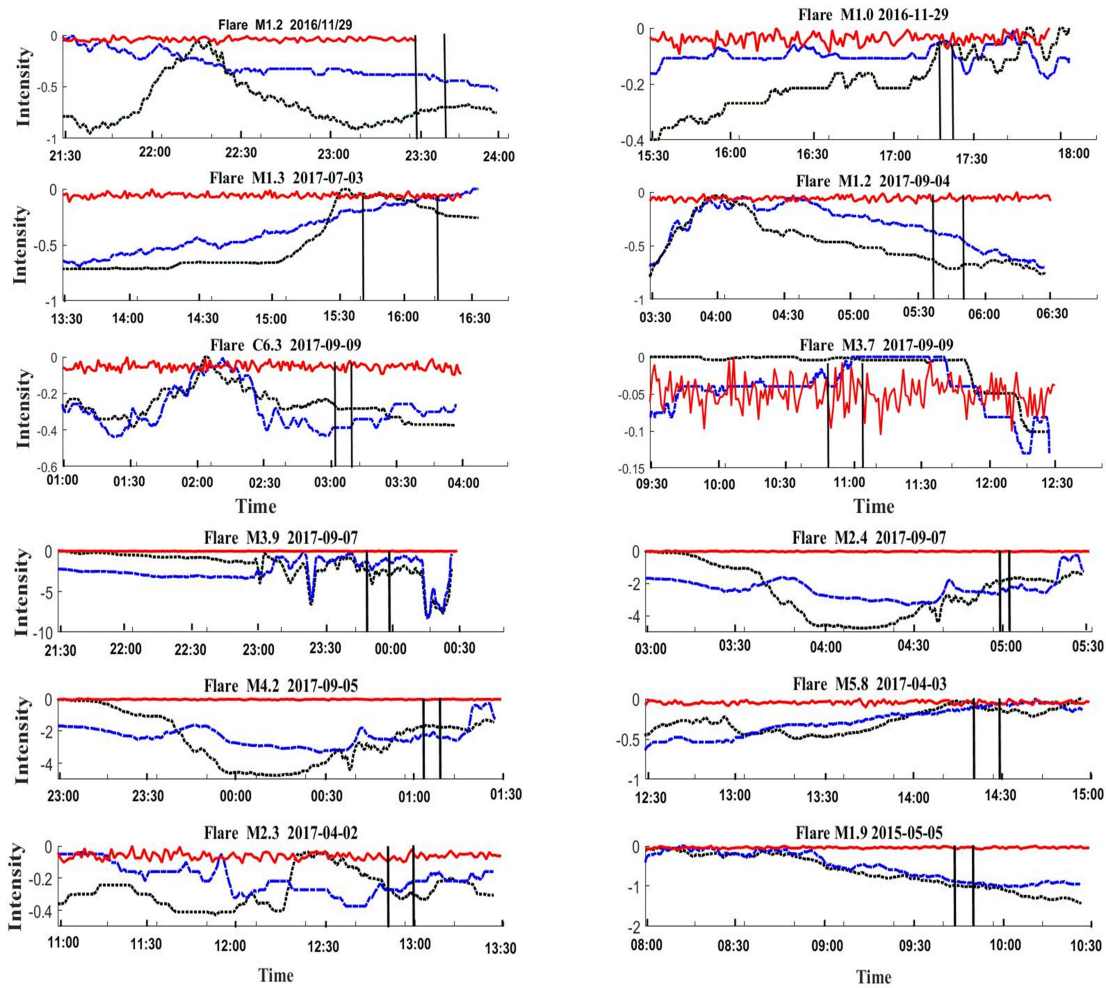
شراره‌های دارای VLP‌های پیش‌شراره								
ردیف	شراره‌های دارای پالس‌های VLP	تاریخ وقوع	زمان شروع	زمان اوج	زمان پایان	موقعیت و ناحیه وقوع شراره	تعداد پالس‌های VLP	دوره‌تناوب (دقیقه)
۱	M1.2	۲۰۱۶/۱۱/۲۹	۲۳:۲۹	۲۳:۳۸	۲۳:۴۰	S07E51 AR: 12615	۵	۹/۲۸
۲	M1.0	۲۰۱۶/۱۱/۲۹	۱۷:۱۹	۱۷:۲۳	۱۷:۲۶	S07E55 AR:12615	۵	۵/۲۳
۳	M1.3	۲۰۱۷/۰۷/۰۳	۱۵:۳۷	۱۶:۱۵	۱۶:۱۸	N03W89	۷	۱۶/۳
۴	M1.2	۲۰۱۷/۰۹/۰۴	۰۵:۳۶	۰۵:۴۹	۰۶:۰۵	S10W04 AR:12673	۵	۲۸/۲
۵	C6.3	۲۰۱۷/۰۹/۰۹	۰۳:۰۲	۰۳:۰۹	۰۳:۲۵	S11W69 AR:12673	۶	۱۷/۸
۶	M3.7	۲۰۱۷/۰۹/۰۹	۱۰:۵۰	۱۱:۰۰	۱۱:۴۲	S14W74 AR:12673	۵	۱۷/۹
۷	M3.9	۲۰۱۷/۰۹/۰۷	۲۳:۵۰	۲۳:۵۹	۲۰۱۷/۰۹/۰۸ ۰۰:۱۴	S09W50 AR:12673	۷	۱۴
۸	M2.4	۲۰۱۷/۰۹/۰۷	۰۴:۵۹	۰۵:۰۲	۰۵:۰۸	S07W45 AR:12673	۷	۴/۲۴
۹	M4.2	۲۰۱۷/۰۹/۰۵	۰۱:۰۳	۰۱:۰۸	۰۱:۱۱	S09W14 AR:12673	۳	۱۵/۸
۱۰	M5.8	۲۰۱۷/۰۴/۰۳	۱۴:۱۹	۱۴:۲۹	۱۴:۳۴	N16W78 AR:12644	۵	۲۰/۰
۱۱	M2.3	۲۰۱۷/۰۴/۰۲	۱۲:۵۲	۱۳:۰۰	۱۳:۱۱	N13W61 AR:12644	۷	۱۶/۷
۱۲	M1.9	۲۰۱۹/۰۵/۰۵	۰۹:۴۲	۰۹:۴۷	۰۹:۵۱	N14E82 AR:12339	۵	۱۸/۵
شراره‌های بدون VLP‌های پیش‌شراره								
ردیف	شراره‌های بدون پالس‌های VLP	تاریخ وقوع	زمان شروع	زمان اوج	زمان پایان	موقعیت و ناحیه وقوع شراره	دوره‌تناوب (دقیقه)	
۱	C5.5	۲۰۱۷/۰۸/۲۵	۰۷:۱۵	۰۷:۲۷	۰۷:۴۶	N05E19	---	
۲	C3.3	۲۰۱۷/۰۴/۱۸	۰۹:۲۹	۰۹:۴۱	۰۹:۵۵	N09E84	---	
۳	C4.3	۲۰۱۷/۰۴/۰۷	۱۹:۴۲	۱۹:۴۹	۱۹:۵۲	S10W89	---	
۴	C4.1	۲۰۱۷/۰۲/۲۲	۱۳:۰۳	۱۳:۲۷	۱۳:۳۸	N22E48	---	
۵	C7.5	۲۰۱۶/۱۱/۲۹	۰۷:۰۳	۰۷:۱۰	۰۷:۱۲	S08E62	---	
۶	M1.9	۲۰۱۶/۰۷/۲۴	۱۷:۳۰	۱۷:۴۳	۱۸:۱۲	N07W89	---	



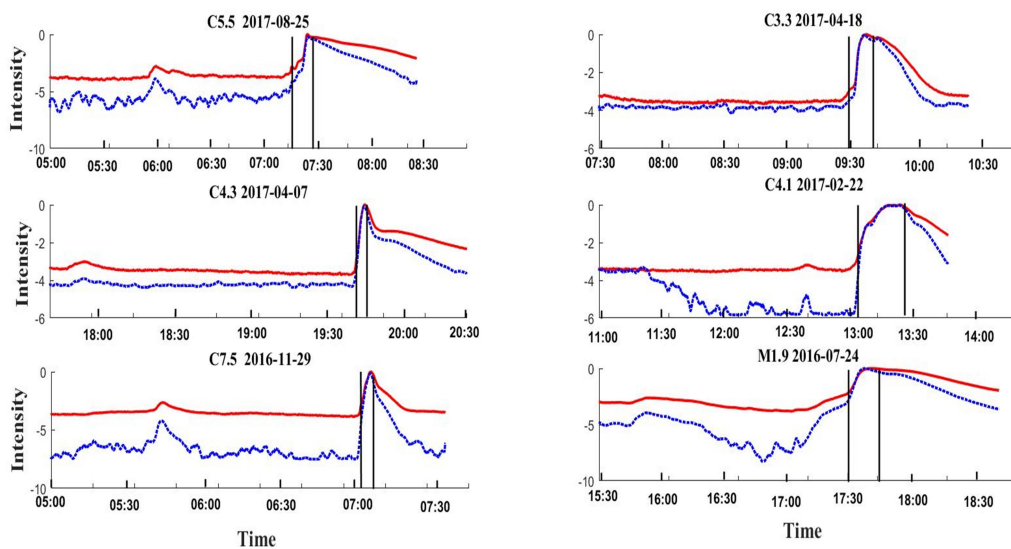
شکل ۱. ناحیه فعال شراره‌های انتخاب شده (شکل ۲) برگرفته از ابزار SDO/AIA در طول موج ۱۷۱ آنگستروم- نوع شراره و زمان وقوع آن در هر قسمت مشخص است.



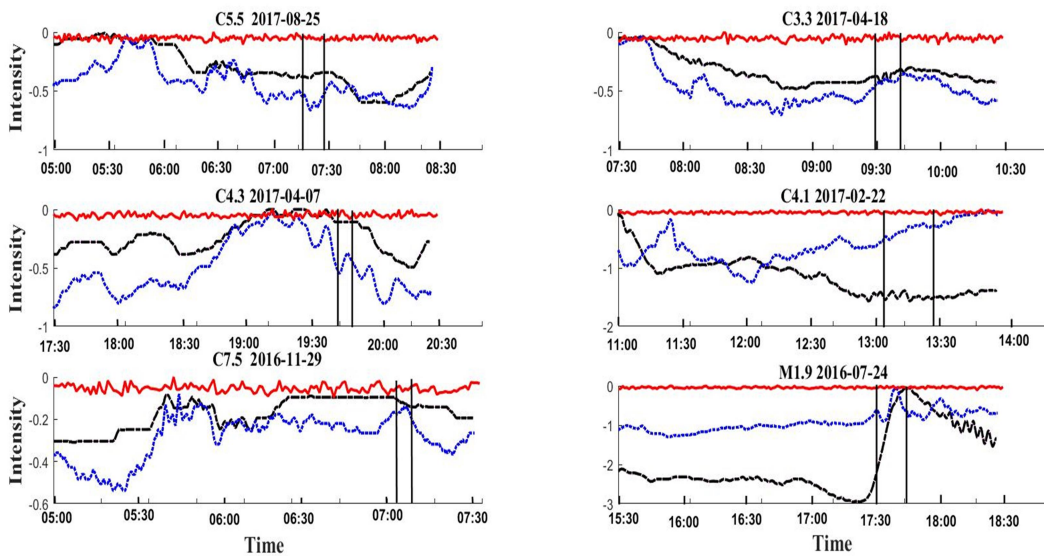
شکل ۲. نمودار تابش اشعه ایکس ۱۲ شراره که پالس‌های بلندمدت قبل از شروع شراره (VLPهای پیش شراره) در آنها مشاهده شده‌است. در هر نمودار منحنی قرمز، منحنی نوری تابش اشعه ایکس نرم در طول موج ۸-۱ آنگستروم است و منحنی آبی تابش اشعه ایکس را در کانال ۴-۵ آنگستروم نشان می‌دهد. دو خط عمود مشکی لحظه شروع و پیک شراره و فاصله بین این دو خط زمان وقوع (Rising) را نشان می‌دهد. این داده‌ها از ماهواره GOES-15 به‌دست آمده‌است. داده‌ها دوساعت قبل از شروع و نیم‌ساعت بعد از اتمام شراره‌ها را شامل می‌شود.



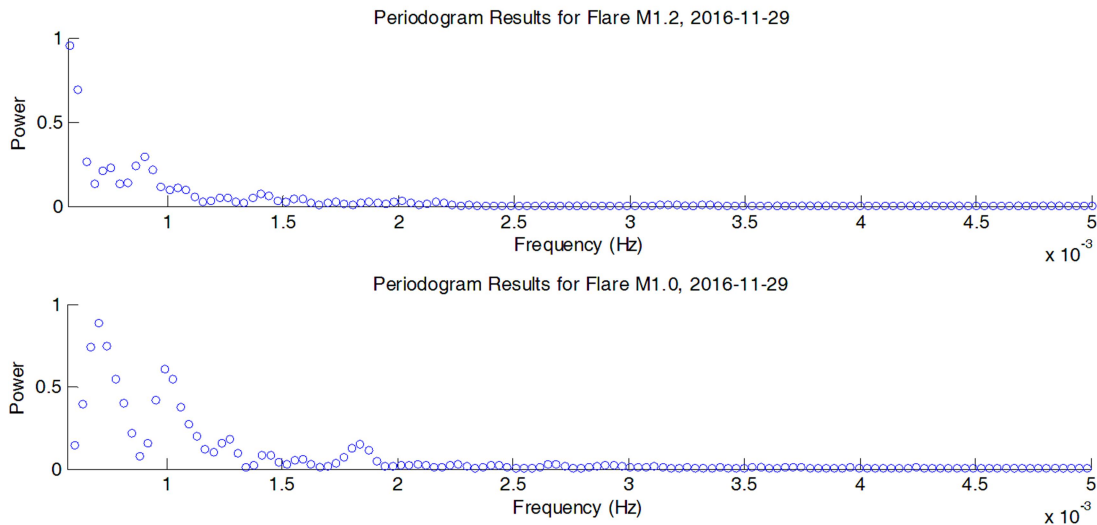
شکل ۳. نمودار تابش الکترون، پروتون و نوترون مربوط به همان ۱۲ شراره شکل قبل؛ منحنی مشکی تابش الکترون و منحنی آبی تابش پروتون است که داده آن از ماهواره GOES-15 گرفته شده‌است. منحنی قرمز نیز مربوط به اثرات ذرات برخوردی حاصل از این شراره‌ها در سطح زمین، طبق نوترون مونیتورینگ دانشگاه Oluo است.



شکل ۴. نمودار شراره‌های بدون VLPهای پیش‌شراره: نمودارها منحنی نوری تابش اشعه ایکس نرم در طول موج ۱-۸ آنگستروم (منحنی قرمز) و ۴-۰/۵ آنگستروم (منحنی آبی نقطه‌چین) را نشان می‌دهد.



شکل ۵. نمودار تابش الکترون، پروتون و نوترون مربوط به ۶ شراره بدون VLP پیش-شراره (شکل قبل)؛ منحنی مشکی تابش الکترون و منحنی آبی تابش پروتون است که داده آن از ماهواره GOES-15 گرفته شده است. منحنی قرمز نیز مربوط به اثرات ذرات برخوردی حاصل از این شراره ها در سطح زمین، طبق نوترون مونیتورینگ دانشگاه Oluo است.



شکل ۶. منحنی پریودگرام (طیف توانی بر حسب فرکانس) برای دو شراره اول (M1.0 و M1.2) تاریخ ۲۰۱۶-۱۱-۲۹.

آشکاری را نشان نمی‌دهد.

۴. بحث و نتیجه گیری

ما در این مقاله ۱۸ شراره مختلف را به طور تصادفی از کلاس‌های M و C انتخاب کردیم و مورد بررسی قرار دادیم. این شراره‌ها را از میان شراره‌هایی که زمان خیزش کمتری داشتند انتخاب کردیم، چرا که طبق مشاهدات تان و همکاران (۲۰۱۶) در چنین

از آنجا که وقوع شراره باعث شتاب الکترون‌ها و یون‌ها و ایجاد شار الکترونی می‌شود، ما تابش الکترون، پروتون و نوترون را نیز در این شراره‌ها بررسی کردیم (شکل‌های ۳ و ۵) تا ببینیم آیا شراره‌های دارای VLP پیش‌شراره و شراره‌های فاقد آن از این لحاظ تفاوتی نشان می‌دهند یا خیر. چنانچه شکل‌های مذکور نشان می‌دهد شار الکترون، پروتون و نوترون، در شراره‌های دارای VLP پیش-شراره نسبت به شراره‌های فاقد VLP تفاوت

خواص و ویژگی‌های پلاسما و ساختارشناسی میدان مغناطیسی در ارتباط است. وجود VLP‌های پیش‌شراره نشان می‌دهد قبل از شروع شراره جریان‌های الکتریکی در حلقه‌های پلاسما شراره ایجاد می‌شوند. حلقه‌های حامل جریان باعث ایجاد ناپایداری‌های پلاسما و تابش‌های اشعه ایکس می‌شود و در نهایت VLP‌های پیش‌شراره را به‌وجود می‌آورد. حلقه‌های شراره‌ای خورشیدی جریان‌های الکتریکی طولی نیز دارند. جریان‌های الکتریکی واقع در پلاسما حلقه باعث تغییراتی در میدان مغناطیسی می‌شود که این تغییرات باعث ایجاد رسانایی در پلاسما می‌شود. جریان پلاسما که دارای ضریب رسانندگی است باعث می‌شود حلقه رفتاری مشابه یک مدار LRC با ضریب القایی الکتریکی L و ظرفیت الکتریکی C از خود نشان دهد. در نتیجه مکانیسم نوسانات LRC نیز می‌تواند توضیح مناسبی باشد که طبق آن حلقه‌های حامل جریان پلاسما VLP‌های پیش‌شراره منتشر می‌کنند. چنان‌چه گفته شد مشاهدات نشان می‌دهد که در شراره‌های قوی‌تر با زمان صعود کوتاه‌تر احتمال بیشتری برای ایجاد VLP‌های پیش‌شراره وجود دارد که ممکن است به دلیل آزادسازی نسبتاً آرام انرژی در این نوع شراره‌ها و درهم تنیدگی حلقه‌های شراره باشد.

در تمام ۱۲ شراره‌ای که در آنها پالس‌ها یا VLP‌های پیش‌شراره به‌وضوح مشاهده شد این VLP‌ها خبر از وقوع یک شراره را در زمان نه چندان دوری (تا دو ساعت بعد) می‌دهند. با توجه به مشاهدات ما غالب شراره‌هایی که VLP داشتند، شراره‌های نوع M بودند و غالب شراره‌های نوع C فاقد پیش‌شراره بودند؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد همان‌طور که تان و همکاران (۲۰۱۶) پیش‌بینی کرده‌اند احتمال مشاهده VLP‌ها در شراره‌های بزرگ‌تر و پرانرژی‌تر بیشتر است و وقوع این VLP‌ها می‌تواند مکانیزمی برای تخلیه انرژی نیز تلقی شود. اما از آنجا که یک شراره نوع M1.9 داریم که با وجود پرانرژی بودن در آن VLP مشاهده نمی‌شود و از طرفی شراره نوع C6.3 را نیز بررسی کردیم که با وجود این که نسبتاً کم انرژی است

شراره‌هایی احتمال وجود پالس‌های پیش‌شراره بیشتر است. برای این کار داده‌های گوس ۱۵ با فرمت CSV را بارگیری کردیم. از این میان ۶ شراره در کلاس C و ۱۲ شراره در کلاس M هستند. در دوازده مورد از آنها VLP‌های منظم را پیش از وقوع شراره مشاهده کردیم که به‌جز یکی بقیه در کلاس M بودند. دوره‌تناوبی که برای VLP‌های این شراره‌ها مشاهده کردیم بین ۱۴ تا ۲۸/۹ دقیقه است که با نتایج تان و همکاران (۲۰۱۶) در توافق است. تعداد پالس‌های مشاهده شده در هر پیش‌شراره بین ۳ تا ۷ است. برای شش شراره از شراره‌های انتخابی ما نیز VLP منظمی مشاهده نشد که آنها به‌جز یک مورد همه در کلاس C بودند. با بررسی داده‌های این ۱۸ شراره دریافتیم که ۶۵ درصد از شراره‌های مورد بررسی ما دارای VLP‌های پیش‌شراره است.

وقوع VLP‌های پیش‌شراره می‌تواند یک طلعه یا یک پیش‌درآمد برای وقوع شراره باشد. بنابراین می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مناسب برای پیش‌بینی یک شراره قریب‌الوقوع بررسی شود. تشخیص و استخراج آنها نیز توسط داده‌های اشعه ایکس GOSE به‌راحتی امکان‌پذیر است و این امکان را به ما می‌دهد تا ۱۱ الی ۲ ساعت پیش از وقوع شراره آنها را رصد کنیم. این مدت، زمان کافی برای تشخیص و پیش‌بینی وقوع یک شراره را به ما می‌دهد. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد این پالس‌ها با نوسانات MHD مرتبط هستند. یعنی همان پالس‌های شبه‌پریودیک با دوره‌تناوب کمتر از ثانیه تا چند دقیقه که در طول‌موج‌های مختلف در طول فاز صعود و فاز پس‌شراره اتفاق می‌افتد. نوسانات مغناطوهیدرودینامیک درباره تشکیل پالس‌های شبه‌پریودیک توضیحاتی را ارائه می‌دهد. زیرا نوسانات مغناطوهیدرودینامیک می‌تواند تقریباً تمام جنبه‌های فرایندهای انتشار و تابش از قبیل بازاتصال مغناطیسی و مدل‌سازی آهنگ تغییرات آن، شتاب و دینامیک الکترون و شرایط و ویژگی‌های پلاسما را تحت تأثیر قرار دهد. دوره‌تناوب و سایر پارامترها با

نیازمند بررسی‌های آماری بیشتر است.

مراجع

- Alfven, H. and Carlqvist, P., 1967, Currents in the Solar Atmosphere and a Theory of Solar Flares, *So.Ph.*, 1, 220.
- Benz, A. O., 2017, Flare Observations, *Living Reviews in Solar Physics*, 14, 2.
- Foullon, C., Verwichte, E., Nakariakov, V. M. and Fletcher, L., 2005, X-ray quasi-periodic pulsations in solar flares as magnetohydrodynamic oscillations, *A&A*, 440, L59.
- Hannah, G., Hudson, H. S., Battaglia, M., Christe, S., Kašparová, J., Krucker, S., Kundu, M. R. and Veronig, A., 2011, Microflares and the Statistics of X-ray Flares, *Space Science Revs*, 159, 263, 1108.6203, doi:10.1007/s11214-010-9705-4.
- Harrison, R. A., 1987, Solar soft X-ray pulsations, *A&A*, 182, 337.
- Hayes, L. A., Gallagher, P. T., Dennis, B. R., Ireland, J., Inglis, A. and Morosan, D. E., 2019, Persistent Quasi-periodic Pulsations during a Large X-class Solar Flare, *ApJ*, 875, 33.
- Inglis, A. R., Ireland, J., Dennis, B. R., Hayes, L. and Gallagher, P., 2016, A Large-scale Search for Evidence of Quasi-periodic Pulsations in Solar Flare, *ApJ*, 833, 284.
- Kolotkov, D. Y., Nakariakov, V. M., Kupriyanova, E. G., Ratcliffe, H. and Shibasaki, K., 2015, Multi-mode quasi-periodic pulsations in a solar flare, *A&A*, 574, A53.
- Kumar, S., Nakariakov, V. M. and Moon, Y.J., 2016, Effect of a Radiation Cooling and Heating Function on Standing Longitudinal Oscillations in Coronal Loops, *ApJ*, 824, 8.
- Li, D., Zhang, Q. M., Huang, Y., Ning, Z. J. and Su, Y. N., 2017, Quasi-periodic pulsations with periods that change depending on whether the pulsations have thermal or nonthermal components, *A&A* 597, L4.
- Li, D., Li, Y., Lu, L., Zhang, Q., Ning, Z. and Anfinogentov, S., 2020a, HYPERLINK "<https://ui.adsabs.harvard.edu/>"Observations of a Quasi-periodic Pulsation in the Coronal Loop and Microwave Flux during a Solar Preflare Phase, *ApJ*, 893, L17.
- Li, D., Lu, L., Ning, Z., Feng, L., Gan, W. and Li, H., 2020b, HYPERLINK "<https://ui.adsabs.harvard.edu/>"Quasi-periodic Pulsation Detected in Ly α Emission During Solar Flares, *ApJ*, 893, 7.
- Li, D., Feng, S., Su, W. and Huang, Y., 2020c, Preflare very long-periodic pulsations observed in H emission before the onset of a solar flare, *A&A*, 639, L5. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038398>.
- McLaughlin, J. A., Nakariakov, V. M., Dominique, M., Jelínek, P. and Takasao, S., 2018, Modeling Quasi-Periodic Pulsations in Solar and Stellar Flares, *Space Sci. Rev.*, 214, 45.
- Nakariakov, V. M., Kolotkov, D. Y., Kupriyanova, E. G., Mehta, T., Pugh, C. E., Lee, D. H. and Broomhall, A. M., 2018, Non-stationary quasi-periodic pulsations in solar and stellar flares, *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 61, 014024.
- Nakariakov, V. M., Kosak, M. K., Kolotkov, D. Y., Anfinogentov, S. A., Kumar, P. and Moon, Y. J., 2019, Properties of Slow Magneto acoustic Oscillations of Solar Coronal Loops by Multi-instrumental Observations, *ApJ*, 874, L1.
- One-Minute Quasi-Periodic Pulsations Seen in a Solar Flare, *Sol. Phys.*, 292, 11.
- Priest, E., 2014, *Magnetohydrodynamics of the Sun*, Cambridge University Press.
- Pugh, C. E., Broomhall, A.-M. and Nakariakov, V. M., 2019, Scaling laws of quasi-periodic pulsations in solar flares, *A&A*, 624, A65.
- Shen, Y. D., Liu, Y., Su, J. T., Li, H., Zhang, X. F., Tian, Z. J., Zhao, R. J. and Elmhamdi, A., 2013, Observations of a Quasi-periodic, Fast-Propagating Magnetosonic Wave in Multiple Wavelengths and Its Interaction with Other Magnetic Structures, *Sol. Phys.*, 288, 585.
- Svestka, Z., 1994, Slow-mode oscillations of large-scale coronal loops, *So.Ph.*, 152, 505.
- Tan, B. L., Ji, H. S., Huang, G. L, Zhou, T. H., Song, Q. W. and Huang, Y., 2006, Evolution of Electric Currents Associated with Two M-Class Flares, *So. Ph.*, 239, 137.
- Tan, B., Yan, Y., Tan, C. and Liu, Y., 2007, The Microwave Pulsations and the Tearing Modes in the Current-Carrying Flare Loops, *ApJ*, 671, 964.
- Tan, B., Yu, Z., Huang, J., Tan, C. and Zhang Y., 2016, Very Long-period Pulsations before the Onset of Solar Flares, *ApJ*, 833. 206T. (ArXiv:1610.09291v2).
- Tian, H., Young, P. R., Reeves, K. K., Wang, O., Antolin, P., Chen, B. and He, J., 2016, Global Sausage Oscillation of Solar Flare Loops Detected by the Interface Region Imaging Spectrograph, *ApJ*, 823, L16.

- Thurgood, J. O., Pontin, D. I. and McLaughlin, J. A., 2017, Three-dimensional Oscillatory Magnetic Reconnection, *ApJ*, 844, 2.
- Tobias, S. M. and Cattaneo, F., 2013, Shear-driven dynamo waves at high magnetic Reynolds number, *Nature*, 497, 463.
- Van Doorselaere, T., Kupriyanova, E. G. and Yuan, D., 2016, Quasi-periodic Pulsations in Solar and Stellar Flares: An Overview of Recent Results (Invited Review) , *Sol. Phys.*, 291, 3143.
- Wang, T. J., 2011, Standing Slow-Mode Waves in Hot Coronal Loops: Observations, Modeling, and Coronal Seismology, *Space Sci. Rev.*, 158, 397.
- Wang, T., Ofman, L., Sun, X., Provornikova, E. and Davila, J. M., 2015, Evidence of Thermal Conduction Suppression in a Solar Flaring Loop by Coronal Seismology of Slow-mode Waves, *ApJ*, 811, L13.
- Yu, S. and Chen, B., 2019, Possible Detection of Sub-second-period Propagating Magneto hydrodynamics Waves in Post-reconnection Magnetic Loops during a Two-ribbon Solar Flare, *ApJ*, 872, 71.
- Yuan, D., Nakariakov, V. M., Chorley, N. and Foullon, C., 2011, Leakage of long-period oscillations from the chromosphere to the corona, *A&A*, 533, 116
- Zhou, G. P., Zhang, J. and Wang, J. X., 2016, Observations of Magnetic Flux-rope Oscillation during the Precursor Phase of a Solar Eruption, *ApJ*, 823, L19.

Observing of Pre-flare Very Long-period Pulsations, for 12 Solar Flares, as a Sign of Flare's Onset

Jalali Rad, M.¹ and Fathalian, N.^{2*}

1. M.Sc. Student, Department of Physics, Payame Noor University, Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Department of Physics, Payame Noor University, Tehran, Iran (P.O.Box 19395-3697)

(Received: 30 Aug 2021, Accepted: 19 April 2022)

Summary

Solar flares are sudden bursts in the solar atmosphere, which have emissions, from radio wavelengths up to gamma rays, and according to their energy are classified into different classes (A, B, C, M, and X, respectively). The process of releasing magnetic energy in flares is done by magnetic reconnection, which is often created by a complex magnetic field. Flares accelerate many electrons and ions, raising their energy to the limit of relative energy. These accelerating particles play a very important role in the release of large solar flare energies. Considering the fact that flares emit radiation when they explode, most of them create light spectrum and sometimes X-rays and ultraviolet rays, which are emitted mainly by the photosphere and chromosphere into concentrated sources called footpoints and ribbons. These radiations and emissions occur when the lower layers of the sun's atmosphere heat up during a flare, and this heating due to the collision of particles probably plays an important role in the occurrence of the flare. In addition, they emit high-energy radiation such as hard X-rays (HXR) from electrons and gamma rays from ions. The main part of these emissions is in the form of electromagnetic emission (soft X-rays) and energetic particles. Emissions radiated from a large flare or a solar mass eruption (with an energy more than 10^{25} J), when reaching the earth, can have destructive effects on the Earth's atmosphere, as well as the orbits of satellites or magnetic and electrical facilities of devices like ships and airplanes. Therefore, predicting the time of the flare occurrence and determining its class type can help reduce these destructive effects.

One of the observable structures that can be seen before a flare occurs, are oscillations with very long period pulsations (VLPs) of the order of 8-30 minutes, which occur about one to two hours before the flare onset, and were first reported by Tan et al. (2016) in the pre-flare phase. MHD oscillations and longitudinal electric current in flare loops can be appropriate candidates to explain the formation of VLPs. Investigating pre-flare VLPs can also help us in understanding the origin of flares. With the help of observational data of X-ray radiation (SXR), onboard the GOES satellite, during the pre-flare phase, these pulses can be observed at similar time scales during flare processes.

In this paper, using the abovementioned data, we selected eighteen flares for the study of which 6 flares are in class C and 12 flares are in class M. Of these, twelve had typical VLPs before flare-onset, which were all in the M class, with the exception of one. The periodicity that we calculated for the VLPs of these flares, with the help of the Fast Fourier Transform is 14 to 28.9 minutes, which is in agreement with the results of Tan et al. (2016). The number of pulses observed in each pre-flare is between 3 and 7. For the other six remaining flares of our selection, no typical pre-flare VLP was observed, which all but one of them, were in class C.

Keywords: Flare, Pre-flare Phase, Flare Forecast, Pre-flare Very Long-period Pulsations, GOES data.

* Corresponding author:

Narges.fathalian@pnu.ac.ir