

طول میرایی امواج مغناطوآکوستیک آرام مشاهده شده در حلقه‌های تاج با استفاده از تلسکوپ اس-دی-او

عباس عابدینی و طاهره امیرحسینی

گروه فیزیک، دانشگاه قم، قم

پست الکترونیکی: a.abedini@qom.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۲۵؛ دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۴/۵/۱۱)

چکیده

امواج مغناطوآکوستیک آرام غالباً در حلقه‌های پنکه‌مانند، نواحی فعال و ساختارهای پره‌مانند قطبی مشاهده می‌شوند. دوره تناوب‌های مشاهده شده این امواج در بازه ۱ تا ۴۰ دقیقه است. عمدتاً، نسبت زمان میرایی به دوره نوسانی (به طور معادل نسبت طول میرایی به طول موج) کمتر از ۲ است، که نشان دهنده میرایی قوی در نوسانات است. به طور کلی، امواج مغناطوآکوستیک آرام توسط عوامل اتلافی متنوعی می‌توانند میرا شوند. قبلاً، اثر عواملی هم‌چون رسانش گرمایی، وشکسانی تراکمی، تابش و غیر یکنواختی میدان مغناطیسی در میرایی نوسانات امواج مغناطوآکوستیک آرام بررسی شده است. مطالعات نظری نشان می‌دهند که میرایی مشاهده شده باید وابسته به بسامد باشد. در اینجا طول میرایی امواج مغناطوآکوستیک آرام طولی و نحوه وابستگی آن به بسامد در حلقه‌های طویل واقع در بالای یک ناحیه فعال با استفاده از تصاویر حاصل از ابزار ای آی روی تلسکوپ اس دی او، در طول موج‌های ۱۷۱ و ۱۹۳ آنگستروم مطالعه می‌گردد. نتایج حاصل از این تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد بسامد نوسانات در محدوده ۰٫۵ تا ۱۶٫۷ میلی‌هرتز (۱ تا ۳۳ دقیقه) و فرکانس‌های غالب ۱، ۲٫۲، ۳٫۶ و ۶ و ۴ میلی‌هرتز هستند. میانگین طول میرایی به ترتیب برای بسامد‌های غالب ۳۸٫۱، ۳۵٫۴، ۳۵، ۳۲٫۷ و ۲۹٫۵ مگامتر هستند. همچنین، طول میرایی در بسامد‌های ۲٫۲، ۳٫۶ و ۴٫۶ نسبت به طول میرایی در بسامد ۱ میلی‌هرتز حدود ۷، ۱۳٫۵ و ۲۲٫۵ درصد کاهش نشان می‌دهد. طول میرایی مشاهده شده از این تجزیه و تحلیل با یافته‌های افراد دیگر و پیش بینی مدل‌های نظری امواج مغناطوآکوستیک از نظر مقداری تطابق خوبی دارد. اما بستگی طول میرایی به بسامد، کمتر از پیش بینی‌های مدل‌های نظری است.

واژه‌های کلیدی: تاج خورشید، نوسانات خورشید، بستگی طول میرایی به بسامد

۱. مقدمه

شده است (برای مثال مراجعه شود به مراجع [۱-۷]). از امواج مغناطوآکوستیک، علاوه بر سهم بودن در گرمایش تاج و شتاب دادن ذرات باد خورشیدی، در لرزه‌شناسی خورشید نیز استفاده می‌شود [۴ و ۶]. امواج مغناطوآکوستیک از نظر سرعت انتشار به دو

امواج مغناطوآکوستیک آرام، در بالای نواحی فعال، ساختارهای پره‌مانند قطبی و داخلی، پایه حلقه‌های واقع در بالای لکه‌های خورشید، و حتی در نواحی دور از لکه‌های خورشیدی مشاهده

سه بعدی کرده و همچنین طول میرایی را به دست آوردند. کریشنا پاراساد و همکارانشان (۲۰۱۴) نحوه وابستگی میرایی در نواحی مختلف مثل ناحیه فعال و ساختارهای پره‌مانند در قطب‌ها و داخل خورشید را مورد بررسی قرار داده‌اند. این افراد با مقایسه چگالی توان طیفی بر حسب زمان و فاصله نواحی مختلف دریافتند که با افزایش دوره‌های نوسان، طول میرایی در امتداد حلقه‌های نزدیکی نواحی فعال و ساختارهای پره‌مانند در سطح خورشید کاهش می‌یابد. اما در دوره‌های نوسانی، طول میرایی افزایش می‌یابد [۳]. در این مقاله، ابتدا با یک روش جدید، طول میرایی امواج مغناطیوآکوستیک طولی با استفاده از ۳۰۰ تصویر متوالی از حلقه‌های طویل واقع شده روی یک ناحیه فعال در طول موج‌های ۱۷۱ و ۱۹۳ آنگستروم و با فاصله زمانی ۱۲ ثانیه برای چند بسامد غالب استخراج می‌شوند. سپس طول میرایی را برای همان فرکانس‌ها با استفاده از مدل‌های نظری امواج مغناطیوآکوستیک (MHD) با در نظر گرفتن عوامل گرمایش و سرمایش مثل رسانش گرمایی و شکسانی تراکمی و تابش بر حسب چگالی عددی الکترون‌ها به ازای دماهای مختلف محاسبه می‌شوند و در نهایت، نتایج حاصل از دو روش با هم مقایسه و تجزیه و تحلیل می‌شوند. این مقاله به صورت زیر مرتب شده است. در بخش ۲ مشخصات نواحی مشاهده شده توصیف شده است. در بخش ۳ روش تجزیه و تحلیل داده‌ها ارائه شده است. در بخش ۴ طول میرایی و وابستگی آن به بسامد ارائه شده است. در بخش ۵ برآورد مدل‌های نظری از طول میرایی و وابستگی آن به بسامد ارائه شده، و در بخش ۶ نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نتیجه‌گیری شده است.

۲. مشخصات ناحیه مشاهده شده

مشاهدات مورد علاقه در این مطالعه بر اساس داده‌های ابزار ای آی ای نصب شده روی ماهواره اس دی او (AIA/SDO) است. داده‌های این ابزار از ماهواره شامل تصاویری با فاصله زمانی ۱۲

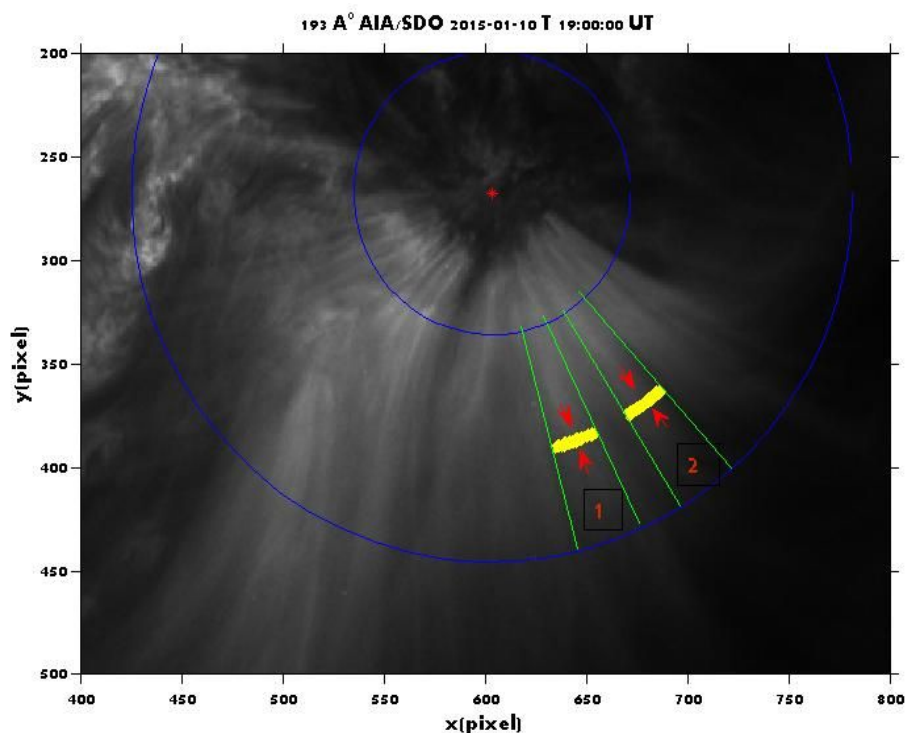
دسته آرام و سریع و از نظر نوع ارتعاش به دسته‌های عرضی و طولی تقسیم‌بندی می‌شوند. دوره تناوب نوسانات عرضی (سوسیسی و کینکی) سریع، حدود چند ثانیه تا چند دقیقه ولی دوره تناوب نوسانات عرضی آرام به ده‌ها دقیقه هم می‌رسد. مشاهدات نشان می‌دهند نوسانات عرضی عمدتاً میرایی قوی دارند. عوامل مختلفی مثل جذب تشدید، تداخل فازی، نشت انرژی از پایه تماس حلقه‌ها، لایه‌بندی گرانشی و نحوه انحنای حلقه در میرایی نوسانات عرضی حلقه‌ها موثر هستند، که قبلاً تأثیر هر یک از این عوامل توسط افراد مختلف بررسی شده است. برای مثال مراجعه شود به انسون (۱۹۷۸)، رای و رابرتس (۱۹۸۲)، صفری و همکاران (۲۰۰۶ و ۲۰۰۷)، گوسینز و همکاران (۲۰۰۲)، آفمن و اشواندن (۲۰۰۲)، فتحعلیان و صفری (۲۰۱۰)، فاضل و عبادی (۲۰۱۴) و صفری و همکاران (۲۰۱۴). دوره تناوب امواج آرام حدود ۱ تا ۴۰ دقیقه است. این امواج باعث اختلال تناوبی و شبه‌تناوبی در شدت نور، در نتیجه پدیده دوپلر می‌شوند که با تجزیه آنها در ناحیه انتشار امواج می‌توان دوره نوسانات، سرعت انتشار، دما و سایر کمیت‌های فیزیکی مرتبط را تخمین زد [۸ و ۹]. طول میرایی مشاهده شده در مقایسه با طول موج (به طور معادل نسبت زمان میرایی به دوره نوسانات) امواج ایستاده و انتشاری کمتر از ۲ است که نشان‌دهنده میرایی قوی این نوسانات است.

عوامل مؤثر بر میرایی امواج آرام عبارتند از: رسانش گرمایی، شکسانی تراکمی، تابش، هم‌گرایی میدان مغناطیسی و لایه‌بندی گرانشی که چگونگی و میزان تأثیر این عوامل نیز توسط افراد مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است که از بین این عوامل نقش رسانش گرمایی در میرایی برجسته تر از عوامل دیگر تشخیص داده شده است، برای نمونه مراجعه شود به مراجع [۱۰-۱۵].

اخیراً، افرادی وابستگی طول میرایی به بسامد نوسانات را به طور نظری و مشاهداتی مطالعه کرده‌اند [۷، ۱۶ و ۱۷]. برای مثال مارش و همکارانش (۲۰۱۱) میرایی امواج آرام را با استفاده از داده‌های تلسکوپ دوتایی استریو ای و بی^۱ همچنین ابزار اس آی ای روی ماهواره هینوده^۲ تصاویر را

۱. STEREO_A, STEREO_B

۲. Hinodeh/SIE



شکل ۱. (رنگی در نسخه الکترونیکی) یک نمونه از ۳۰۰ تصویر متوالی در طول موج ۱۹۳ آنگستروم که با دو حلقه در نزدیکی ناحیه فعال مشخص شده است.

زرد مشخص و با دو پیکان قرمز رنگ نشان داده شده‌اند.

۳. روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور استخراج طبیعت نوسانی شدت در امتداد نواحی مورد نظر که در شکل ۱ مشخص شده‌اند، این مسیرها به زیر بخش‌های کوچکی به ضخامت تقریبی ۴ خانه و عمود بر امتداد مسیر تقسیم می‌شوند. شدت بر حسب زمان پیکسل‌های واقع شده در هر یک از این زیر بخش‌ها برای ۳۰۰ تصویر متوالی با فاصله زمانی ۱۲ ثانیه استخراج و میانگین شدت در هر یک از بخش‌ها محاسبه می‌شود.

میانگین شدت در هر زیر بخش برای هر فاصله زمانی (در

هر تصویر)، $I(s, t_n)$ ، به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود

$$I(s, t_n) = I_b(s) + i(s, t_n), \quad (1)$$

که در آن $I_b(s)$ شدت میانگین در زیر بخش واقع در فاصله s از ابتدای ناحیه انتخابی، $i(s, t_n)$ تغییرات شدت در هر زیر بخش واقع شده در فاصله s ، در لحظه t_n و n شماره تصاویر متوالی است. برای مثال $n = 1, 2, 3, \dots$ به ترتیب تصویر شماره ۱، ۲ و ۳ می‌باشد. برای نمونه در شکل ۲ تغییرات شدت اولیه

ثانیه در ۱۰ طول موج مختلف است. تصاویر اولیه و خام هر ماهواره دارای یک سری معایبی هستند که باید پیرایش شوند. تصاویر مورد استفاده ما تصاویر سطح ۵ ر ۱ هستند که یک سری از معایب آن از قبیل جریان تاریک، میدان تخت و خانه‌های (پیکسل‌های) غیر یکنواخت و داغ آن پیرایش شده‌اند همچنین با چرخش و انتقال، مرکز و محور دوران مشترک پیدا کرده‌اند.

در اینجا از تعداد ۳۰۰ تصویر متوالی در دو طول موج ۱۷۱ و ۱۹۳ آنگستروم با فاصله زمانی ۱۲ ثانیه که در تاریخ ۲۰۱۵-۱-۱۰ بین ساعت ۱۹ تا ۲۰، به وقت جهانی (UT)، که از مجموعه حلقه‌های واقع در روی ناحیه فعال با مشخصات AR: POCA15377 گرفته شده، استفاده می‌شود. شکل ۱ به صورت نمونه، یکی از این تصاویر را نشان می‌دهد که مشخصات آن در بالای آن نوشته شده و همچنین دو ناحیه‌ای که در بین دو خط سبز رنگ واقع شده‌اند نواحی است که مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. به منظور برآورد نوسانات شدت در امتداد این نواحی مجدداً به زیر بخش‌هایی با ضخامت تقریبی ۴ خانه (پیکسل) تقسیم شده‌اند، که در شکل با رنگ

چگالی توان طیفی یکسانی مشاهده می شود، می توان با اطمینان ادعا کرد که بسامدهای استخراج شده نوفه نیستند.

۵. محاسبه طول میرایی و وابستگی آن به بسامد

به منظور محاسبه طول میرایی و نحوه وابستگی آن به بسامد ابتدا با استفاده از چگالی توان طیفی ضرایب تبدیل فوریه بسامدهای غالب معین می شوند. سپس ضرایب فوریه در یک فیلتر گاوسی به صورت زیر:

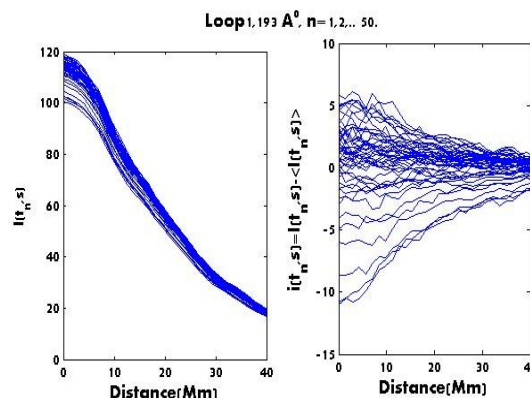
$$a'_i = a_i * \exp\left[-\frac{(a_i - a_j)^2}{2\tau^2}\right], \quad (2)$$

ضرب می شوند که در آن ضریب فوریه بسامد انتخاب شده، a_i و a'_i به ترتیب ضرایب فوریه قبل و بعد از اعمال فیلتر و τ واریانس می باشند.

ضرایب بسامدهای تبدیل فوریه در محدوده 0.4 ± 1 ، 0.4 ± 2.2 ، 0.4 ± 3.6 و 0.4 ± 4.6 میلی هرتز انتخاب و بعد از اعمال فیلتر دوباره با عکس تبدیل فوریه تصاویر برگردانده شدند، و شدت ها مطابق روش قبل در هر یک از زیر بخش ها محاسبه و برحسب فاصله رسم شد. به منظور برآورد طول میرایی در بسامد دلخواه، به نمودار شدت های نوسانی فیلتر شده در هر یک از بخش ها برحسب فاصله یک تابع نمایی به صورت زیر برازش شد

$$i(s) = A * \exp(-\gamma * s) + B, \quad (3)$$

که در آن A دامنه و B ثابت دلخواه و γ ضریب میرایی و عکس آن نشان دهنده طول میرایی نوسانات است. در شکل ۶ برای نمونه، نمودارهای تغییرات شدت فیلتر شده برحسب فاصله در یکی از تصاویر (در تصویر ۱۰۰ ام) برای بسامدهای غالب رسم شده است. و تابع نمایی بر آنها برازش شده و مقادیر به دست آمده در بالای هر یک از کادرها نوشته شده است. کمیت های فیزیکی حاصل از برازش توابع نمایی، از قبیل محدوده طول میرایی، میانگین طول میرایی در هر یک از بسامدهای غالب، برای هر دو مسیر شماره ۱ و ۲ مشخص شده در شکل ۱، ۳۰۰ تصاویر متوالی، تعیین شده و همچنین به منظور برآورد حساسیت طول میرایی نسبت به بسامد، میزان در صد کاهش

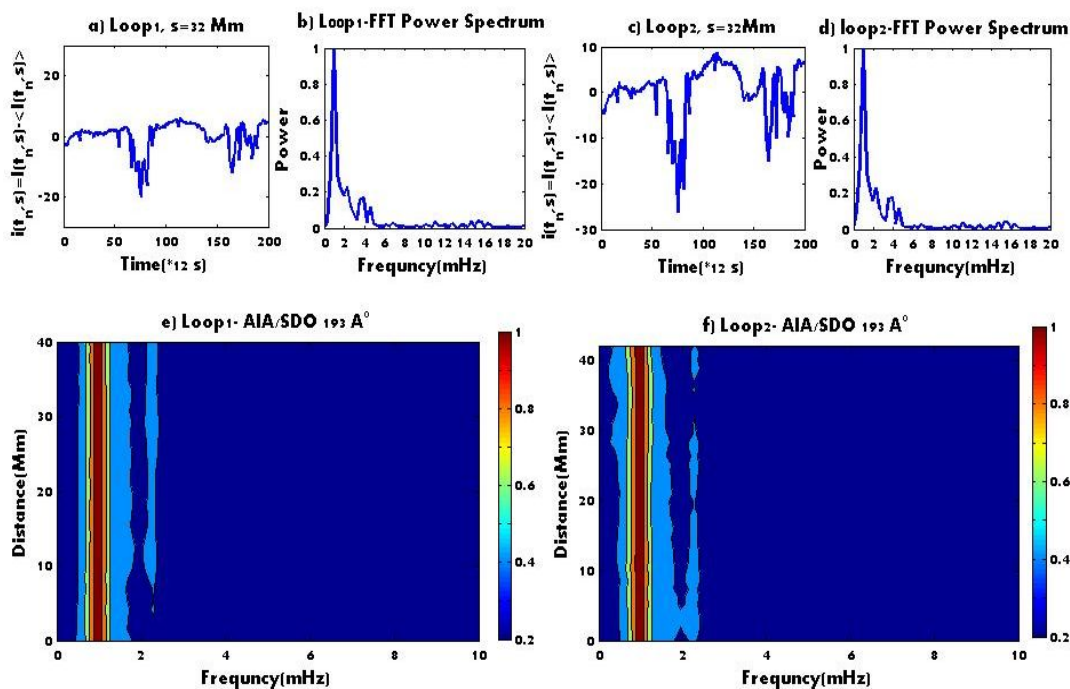


شکل ۲. تغییرات شدت قبل (سمت چپ) و بعد از کسر میانگین (سمت راست) برای ۵۰ تصویر متوالی در طول موج ۱۹۳ آنگستروم در مسیر شماره ۱ را نشان می دهد.

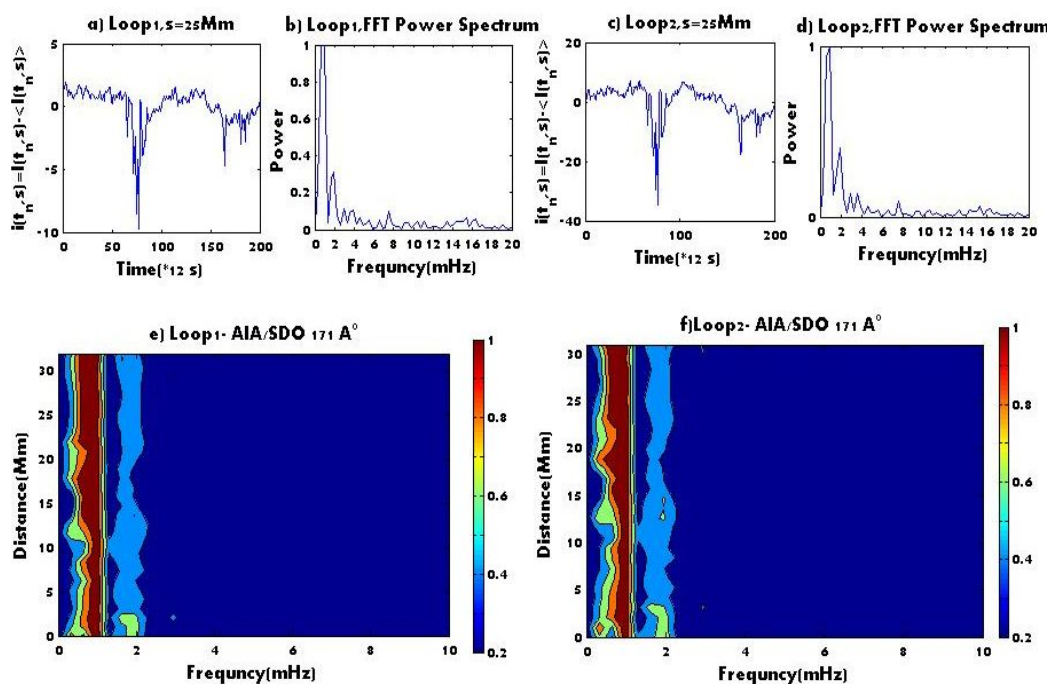
$I(s, t_n)$ و تغییرات شدت حول میانگین $i(s, t_n)$ بر حسب فاصله در امتداد مسیر انتخابی شماره ۱ برای ۵۰ تصویر متوالی در طول موج ۱۹۳ آنگستروم نمایش داده شده است.

۴. دوره نوسانات

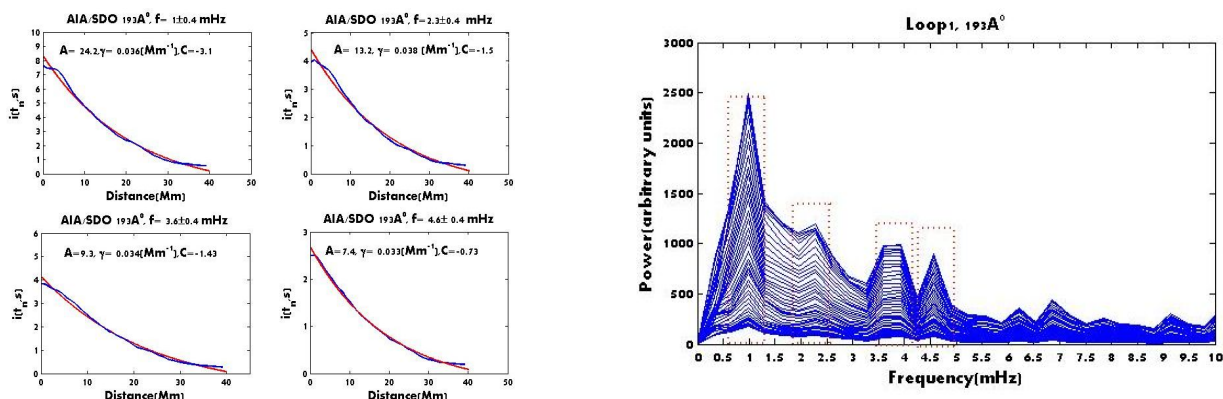
همان طوری که در بخش قبل توضیح داده شد، امتداد مسیره ها، مجدداً به زیر بخش هایی به ضخامت ۴ خانه تقسیم شده و شدت میانگین در هر یک از آنها برحسب زمان استخراج شد. در شکل ۳ و ۴ در ردیف بالا (b و d) یک نمونه از نوسانات شدت حول میانگین بر حسب زمان را در یکی از زیر بخش های واقع در ۲۴ و ۳۲ مگامتری از ابتدای مسیره های انتخابی برای ۲۰۰ تصویر متوالی، و در سمت راست آنها چگالی توان طیفی مربوطه نشان می دهد. در ردیف پایین نقشه چگالی توان طیفی بهنجار شده برحسب بسامد برای تمام زیربخش ها نمایش داده و همچنین محل واقع شدن هر یک از زیربخش ها برحسب مگامتر از ابتدای مسیر در امتداد محور عمودی نشان داده شده است. چگالی توان طیفی نشان می دهد بسامد نوسانات در محدوده ۰.۵ تا ۱۶.۷ میلی هرتز یا به طور معادل، دوره نوسانات بین ۱ تا ۳۳ دقیقه قرار دارند. از چگالی توان طیفی در شکل های ۳، ۴ و ۵ دیده می شود که بسامدهای ۱، ۲.۲، ۳.۶ و ۴.۶ میلی هرتز نوسانات غالب هستند. از آنجایی که در هر دو مسیر و به ازای هر دو طول موج مختلف، تقریباً



شکل ۳. (رنگی در نسخه الکترونیکی) تغییرات شدت حلول میانگین برحسب زمان در مسیر شماره ۱ (a)، و مسیر شماره ۲ (c)، در زیر بخش واقع شده در فاصله ۳۲ مگامتری از پایین ناحیه انتخاب شد و چگالی توان طیفی آن‌ها به ترتیب در (b) و (d) نشان داده شده است. و همچنین نقشه چگالی توان طیفی برحسب بسامد برای تمام زیر بخش‌ها که فاصله آنها از ابتدای نواحی مورد نظر در محور عمودی نوشته شده در امتداد مسیرهای (a) و (c) به ترتیب در (e) و (f) برای طول موج ۱۹۳ آنگستروم نشان داده شده است.



شکل ۴. (رنگی در نسخه الکترونیکی) تغییرات شدت حلول میانگین برحسب زمان در مسیر شماره ۱ (a)، و مسیر شماره ۲ (c)، در زیربخش واقع شده در فاصله ۳۲ مگامتری از پایین ناحیه انتخاب شد و چگالی توان طیفی آن‌ها به ترتیب در (b) و (d) نشان داده شده است. و همچنین نقشه چگالی توان طیفی برحسب بسامد برای تمام زیربخش‌ها که فاصله آنها از ابتدای نواحی مورد نظر در محور عمودی نوشته شده در امتداد مسیرهای (a) و (c) به ترتیب در (e) و (f) برای طول موج ۱۷۱ آنگستروم نشان داده شده است.



شکل ۵. (رنگی در نسخه الکترونیکی) چگالی توان طیفی برحسب بسامد در ۳۰۰ تصویر متوالی که در آن محدوده بسامدهای غالب انتخاب شده، نشان داده شده است.

شکل ۶. (رنگی در نسخه الکترونیکی) نمودار تغییرات شدت فیلتر شده بر حسب فاصله (رنگ آبی) در تصویر ۱۰۰ ام که یک تابع نمایی بر آنها برازش شده و مقادیر به دست آمده در بالای آن نوشته شده است.

$$K_{||} = 10^{-11} T_0^{\frac{5}{2}} \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}. \quad (5)$$

مقادیر κ و Γ بستگی به دما و چگالی پلاسما دارد [۱۹]. کمیت‌های تعادلی در معادلات مغناطوهیدرواستاتیکی (شامل معادلات ماکسول و سیالات) مختل و سپس خطی‌سازی می‌شود. با پیروی از پیندی و همکارانش (۲۰۰۶) فرض می‌کنیم تمام جملات اختلالی به صورت

$$\exp(t - zk)$$

باشند. با جای‌گذاری در معادلات مختل شده یک معادله پاشندگی به صورت زیر پیدا می‌شود [۱۷]

$$iAK^{\ddagger} + iBK^{\ddagger} + iC = 0,$$

$$A = -(\gamma - 1)K_{||} \left[\frac{\ddagger T_0 y_0}{\ddagger p_0 \dots} \ddagger S + \frac{T_0}{\dots} \right],$$

$$B = (\gamma - 1)K_{||}$$

$$\left[K_{||} \frac{\ddagger T_0}{\ddagger p_0} \ddagger S^{\ddagger} + \frac{\ddagger y_0}{\ddagger \dots} + (\ddagger - \ddagger) t \dots T_0^{\ddagger} + i \ddagger S \left(c_s^{\ddagger} + \frac{\ddagger \ddagger t y_0 \dots T_0^{\ddagger}}{\ddagger p_0} \right) \right],$$

$$C = (\gamma - 1)K_{||} \left[\frac{\ddagger T_0^{\ddagger}}{p_0} - i \ddagger S \right] \ddagger S^{\ddagger}, \quad c_s^{\ddagger} = \gamma \frac{p_0}{\dots}, \quad \gamma = \frac{5}{3}. \quad (5)$$

در معادله (۵) با فرض این‌که S حقیقی و k موهومی به صورت $k = k_r + ik_i$ باشد، پس طول میرایی برابر با عکس قسمت موهومی و $\frac{\ddagger}{c_s^{\ddagger} k_r}$ برابر دوره نوسان است. با قرار دادن بسامدهای غالب انتخاب شده در معادله پاشندگی (۵) برحسب چگالی عددی الکترون‌ها به ازای دماهای مختلف به صورت عددی حل و بخش حقیقی و موهومی k محاسبه شدند.

نسبی طول میرایی در بسامدهای ۲٫۲، ۳٫۶ و ۴٫۶ نسبت به طول میرایی در بسامد ۱ میلی‌هرتز $\left(\frac{[L_d(f_n) - L_d(f)]}{L_d(f_1)} \right)$ به ازای طول موج‌های ۱۷۱ و ۱۹۳ آنگستروم به ترتیب در جدول ۱ و ۲ نوشته شده است. برآورد طول میرایی و وابستگی آن به بسامد با استفاده از مدل‌های نظری با استفاده از مدل‌های نظری میرایی امواج مغناطوآکوستیک تحت تأثیر عوامل میرایی مثل رسانش، تابش، وشکسانی، لایه‌بندی گرانشی و هم‌گرایی میدان مغناطیسی در تاج خورشید توسط افراد مختلفی مطالعه شده است (برای مثال مراجعه شود به مراجع [۱۱-۱۳، ۱۶ و ۱۸]).

در اینجا برای راحتی فرض می‌شود پلاسما همگن، هم‌دما، تحت تأثیر میدان مغناطیسی یکنواخت در حالت تعادل و با سرعت اولیه صفر می‌باشد. تنها عوامل اتلافی در پلاسما شامل رسانش گرمایی، تابش و وشکسانی است. آهنگ رسانش و سرمایش این عوامل در واحد حجم به صورت زیر است

$$E_c = \frac{\partial}{\partial z} (K_{||} \frac{\partial e_c}{\partial z}), \quad E_y = \frac{4}{3} y_0 \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^{\ddagger}, \quad E_r = t T_0 \dots \ddagger, \quad (4)$$

در اینجا E_c ، E_y ، E_r به ترتیب رسانش گرمایی، وشکسانی و تابش در واحد حجم است و ضرایب به کار رفته در معادله به صورت زیر تعریف می‌شوند

$$y_0 = 10^{-17} T_0^{\frac{5}{2}} \text{ kgm}^{-1},$$

جدول ۱. کمیت‌های فیزیکی حاصل از برازش تابع نمایی به شدت‌های فیلتر شده از قبیل محدوده طول میرایی، میانگین طول میرایی در بسامدهای غالب و اندازه درصد کاهش نسبی طول میرایی نسبت به طول میرایی بسامد ۱ میلی‌هرتز در مسیرهای انتخابی ۱ و ۲ در طول موج ۱۷۱ آنگستروم نوشته شده است.

| مسیر ۱: طول موج ۱۷۱ آنگستروم | | | | |
|--------------------------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| بسامد (میلی‌هرتز) | ۱ | ۲٫۲ | ۳٫۶ | ۴٫۶ |
| محدوده طول میرایی (مگامتر) | ۲۴٫۲ تا ۴۵٫۳ | ۲۳ تا ۴۱٫۵ | ۱۸٫۳ تا ۴۰ | ۱۵٫۲ تا ۳۳٫۳ |
| میانگین طول میرایی | ۳۳٫۳ | ۳۰٫۶ | ۲۸٫۸ | ۲۴٫۷ |
| اندازه درصد کاهش نسبی با بسامد | - | ۸٫۱ | ۱۳٫۵ | ۲۵٫۶ |
| مسیر ۲: طول موج ۱۷۱ آنگستروم | | | | |
| بسامد (میلی‌هرتز) | ۱ | ۲٫۲ | ۳٫۶ | ۴٫۶ |
| محدوده طول میرایی (مگامتر) | ۲۶٫۷ تا ۴۴٫۴ | ۲۵ تا ۴۲٫۵ | ۲۴٫۲ تا ۴۱٫۵ | ۲۳٫۷ تا ۳۸٫۵ |
| میانگین طول میرایی | ۳۶٫۸ | ۳۳٫۶ | ۳۱ | ۲۷ |
| اندازه درصد کاهش نسبی با بسامد | - | ۸٫۶ | ۱۶ | ۲۶ |

جدول ۲. کمیت‌های فیزیکی اشاره شده در جدول ۱ در مسیرهای انتخابی ۱ و ۲ در طول موج ۱۹۳ آنگستروم نوشته شده است.

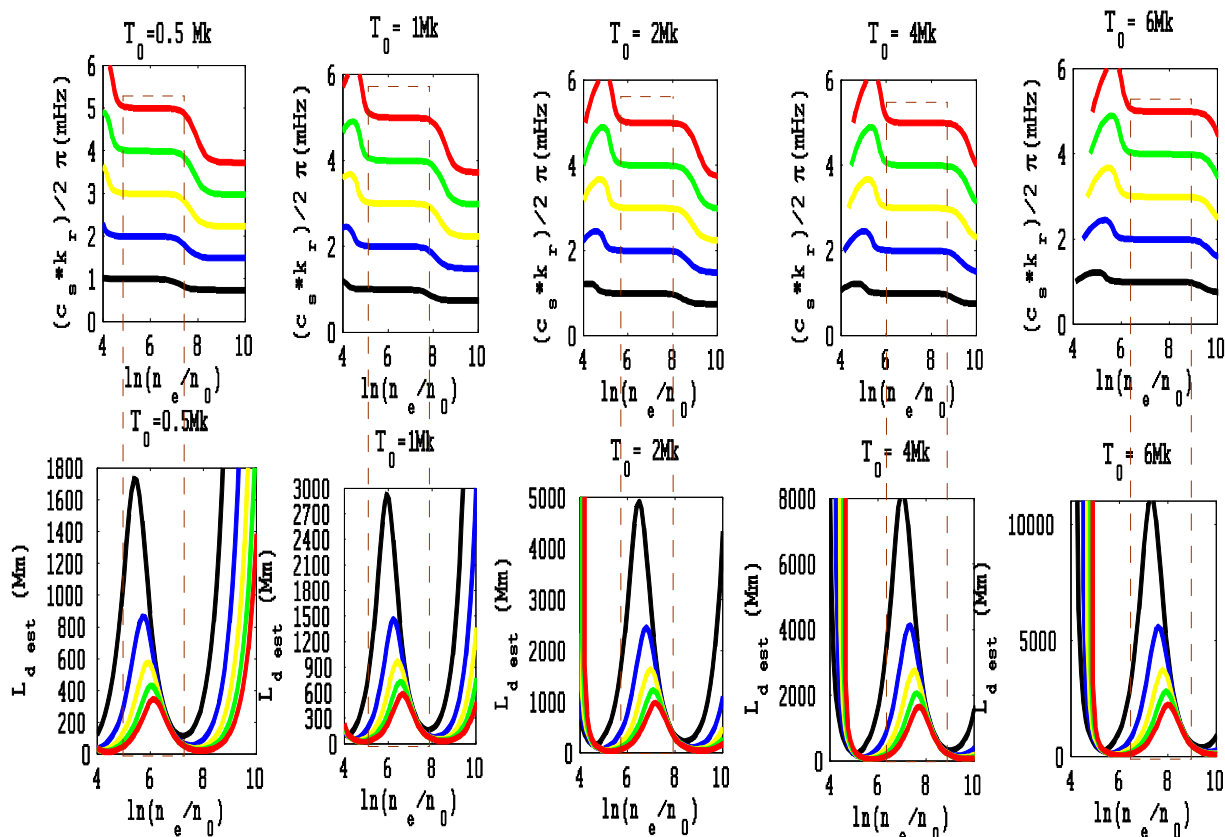
| مسیر ۱: طول موج ۱۹۳ آنگستروم | | | | |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| بسامد (میلی‌هرتز) | ۱ | ۲٫۲ | ۳٫۶ | ۴٫۶ |
| محدوده طول میرایی (مگامتر) | ۳۲٫۶ تا ۳۷٫۷ | ۳۱ تا ۳۶ | ۳۰ تا ۳۵ | ۲۷٫۳ تا ۳۱٫۷ |
| میانگین طول میرایی | ۳۷ | ۳۵ | ۳۲٫۲ | ۳۰ |
| اندازه درصد کاهش نسبی با بسامد | - | ۵٫۶ | ۱۰٫۵ | ۱۸ |
| مسیر ۲: طول موج ۱۹۳ آنگستروم | | | | |
| بسامد (میلی‌هرتز) | ۱ | ۲٫۲ | ۳٫۶ | ۴٫۶ |
| محدوده طول میرایی (مگامتر) | ۴۲٫۸ تا ۵۶ | ۳۷٫۶ تا ۵۰٫۷ | ۳۶٫۳ تا ۴۵٫۳ | ۳۳٫۹ تا ۴۰٫۷ |
| میانگین طول میرایی | ۴۵٫۳ | ۴۲٫۶ | ۳۹ | ۳۶٫۳ |
| اندازه درصد کاهش نسبی با بسامد | - | ۶ | ۱۴ | ۲۰ |

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله میرایی امواج مغناطوآکوستیک طولی با استفاده از ۳۰۰ تصویر متوالی ماهواره اس دی او در دو طول موج مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده از مشاهدات با نتایج حاصل از پیش‌بینی‌های مدل‌های نظری در حضور عوامل گرمایش و سرمایش از قبیل رسانش گرمایی، وشکسانی تراکمی و تابش مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. خلاصه نتایج به شرح زیر است:

محدوده دوره تناوب‌های نوسانی به دست آمده در اینجا برای امواج مغناطوآکوستیک آرام با پیش‌بینی‌های مدل‌های

در شکل ۷ بسامد و طول میرایی و نیز بسامد برحسب چگالی عددی الکترون به ازای دماهای مختلف در حضور عوامل تابش، وشکسانی و رسانش به صورت نموداری نمایش داده شده است. ناحیه مجاز یعنی ناحیه‌ای که کمیت‌های استخراجی حاصل از آن، دارای بسامدی برابر با بسامدهای مد نظر است، در داخل مستطیل‌ها با خط چین نشان داده شده است. همان طوری که از شکل ۷ دیده می‌شود، به ازای دماهای مختلف طول میرایی تابع پیچیده‌ای از چگالی عددی الکترون‌هاست. طول میرایی دارای یک نقطه بیشینه است، که مقدار و محل آن با دما تغییر می‌کند. به عبارت دیگر افزایش یا کاهش بودن طول میرایی بستگی به چگالی الکترون‌ها و دما دارد.



شکل ۷. (رنگی در نسخه الکترونیکی) بسامد (ردیف بالا) و طول میرایی (ردیف پایین) بر حسب چگالی عددی الکترون‌ها ($(\ln(n/n_0), n_0 = 10^{21} \text{ m}^{-3})$) به ازای دماهای مختلف نشان داده شده است.

مقادیر طول میرایی مشاهده شده در مقایسه با طول میرایی استخراج شده از مدل‌های نظری در حضور عوامل سه‌گانه اتلافی که در شکل ۷ نشان داده شده در دماهای پایین‌تر یعنی ۰٫۵ و ۱ مگاکلون در یک محدوده خاص چگالی الکترونی تطابق دارد و در دماهای بالاتر طول میرایی به دست آمده از مدل‌های نظری به مراتب طولی‌تر از مقادیر مشاهده شده است به عبارت دیگر باید به مدل ما عوامل اتلاف دیگری مثل غیریکنواختی میدان مغناطیسی نیز اضافه شود. نتایج مشاهده شده که در جدول ۱ و ۲ ارائه شده نشان می‌دهند تغییرات طول مشاهده شده تابع حساسی نسبت به بسامد نیستند.

حساسیت طول میرایی مشاهده شده نسبت به بسامد فقط در دمای ۰٫۵ و ۱ مگاکلون و در یک ناحیه باریک $3^{-3} \text{ m}^{-3}, n_0 = 10^{21}, \ln\left(\frac{n}{n_0}\right) < 7,5 < 6,5$ تطابق خوبی با پیش بینی مدل‌های نظری دارد.

نظری و همچنین با نتایج کارهای قبلی توسط افراد مختلف که نواحی مشابهی را مطالعه کرده‌اند، تطابق خوبی دارد [۲، ۵، ۷، ۹ و ۱۳].

طول میرایی حاصل از حل عددی معادله پاشندگی (۵) برحسب چگالی الکترون‌ها و به ازای دماهای مختلف که در شکل ۷ رسم شده است در ناحیه مجاز دارای یک بیشینه است. یعنی در یک دمای خاص در یک محدوده، چگالی الکترونی صعودی و در محدوده دیگر نزولی است علاوه بر این، محل این نقطه بیشینه و محدوده صعودی یا نزولی بودن آن با تغییر دما تغییر می‌کند. همچنین وابستگی طول میرایی به بسامد نیز بستگی به دما و چگالی عددی الکترون‌ها دارد.

میانگین طول میرایی مشاهده شده در بسامدهای غالب نوسانات (۱، ۲٫۲، ۳٫۶ و ۴٫۶ میلی‌هرتز) با میانگین طول میرایی گزارش شده توسط کریشنا و مارش که تقریباً ناحیه فعال مشابهی را کار کرده‌اند، تطابق دارد [۳ و ۹].

بسامد آن از محلی به محل دیگر با تغییر دما، چگالی الکترون‌ها و نحوه همگرا یا واگرا بودن میدان مغناطیسی فرق کند.

نتیجه کلی این که مقدار و نحوه وابستگی طول میرایی به بسامد یک تابع پیچیده است انتظار می‌رود مقدار و وابستگی به

مراجع

16. L Ofman and M J Aschwanden, *Astrophys. J.* **576** (2002) L153.
17. Z Fazel and H Ebadi, *Iranian Journal of Physics Research* **14** (2014) 3.
18. N Fathalianand and H Safari, *Astrophys. J.* **724** (2010) 411.
۱۹. س نصیری قیداری و ل یوسفی، مجله پژوهشی فیزیک ایران، ۵، ۳ (۱۳۸۴) ۱۴۵.
۲۰. ح صفری، س تاران و ن فرهنگ، مجله پژوهش ایران ۱۴، ۱، ۳ (۱۳۹۳) ۶۵.
21. A Abedini and H Safari, *New Astronomy* **317** (2011) 16A.
22. A Abedini, H Safari, and S Nasiri, *Solar Phys.* **280** (2012) 137A.
23. I De Moortel, *Space Sci. Rev.* **149** (2009) 65.
24. I De Moortel and A W Hood, *Astron. Astrophys.* **705** (2004) 415.
25. K Karami and K Bahari, *Solar Phys.* **263** (2010) 87.
26. K Karami and A Asvar, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **381** (2007) 97.
27. I De Moortel and A W Hood, *Astron. Astrophys.* **408** (2003) 755.
28. V S Pandey and B N Dwivedi, *Solar Phys.* **236** (2006) 127.
29. L Ofman and T Wang, *Astrophys. J.* **580** (2002) L85.
30. E Hildner, *Solar Phys.* **35** (1974) 23.
1. L Ofman, M Romoli, G Poletto, G Noci, and J L Kohl, *Astrophys. J. Lett.* **491** (1997) L111.
2. M S Marsh, R W Walsh, I De Moortel, and J Ireland, *Astron. Astrophys.* **404** (2003) L37.
3. S Krishna Prasad, D Banerjee, and T Van Doorselaere, *Astrophys. J.* **789** (2014) 118.
4. D B King, V M Nakariakov, E E Deluca, L Golub, and K G McClements, *Astron. Astrophys.* **404** (2003) L1.
5. M S Marsh, R W Walsh, and S Plunkett, *Astrophys. J.* **697** (2009) 674.
6. T J Wang, L Ofman, J M Davila, and J T Mariska, *Astron. Astrophys.* **503** (2009) L25.
7. S Krishna Prasad, D Banerjee, and T Van Doorselaere, *Astrophys. J.* **789** (2014) 118.
8. C E DeForest and J B Gurman, *Astrophys. J. Lett.* **501** (1998) L217.
9. M S Marsh, I DeMoortel, and R W Walsh, *Astrophys. J.* **734** (2011) L81.
۱۰. ط بحرینی نژاد و ع عابدینی، مجله پژوهشی فیزیک ایران ۱۴، ۱، ۳ (۱۳۹۳) ۱۰۷.
11. J Alonson, *Astrophys. J.* **650** (1978) 226.
12. I C Rae and B Roberts, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **201** (1982) 171.
13. H Safari, S Nasiri, K Karami, and Y Sobouti, *Astron. Astrophys.* **448** (2006) 375.
14. H Safari, S Nasiri, and Y Sobouti, *Astron. Astrophys.* **470** (2007) 1111.
15. M Goossens, J Andries, and M J Aschwanden, *Astron. Astrophys.* **394** (2002) L39.